



**Universidade de Aveiro**  
**2008**

Departamento de Engenharia Civil

**João Rui Terra      As Energias Renováveis Aliadas à**  
**Pinheiro Nunes      Construção Sustentável**  
**da Costa**





**Universidade de Aveiro**  
**2008**

Departamento de Engenharia Civil

**João Rui Terra      As Energias Renováveis Aliadas à**  
**Pinheiro Nunes      Construção Sustentável**  
**da Costa**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Velosa, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor Victor Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



**o júri**

presidente

Doutor Paulo Barreto Cachim

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa

Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (co-orientador)



**agradecimentos**

Desejo expressar o meu profundo agradecimento aos meus orientadores, Professora Doutora Ana Velosa e Professor Doutor Victor Ferreira, pela orientação e motivação constante.

Pelo apoio prestado ao longo de toda a tese um obrigado aos amigos que me ajudaram.

Obrigado Magui pela paciência, compreensão e principalmente pela motivação que me fez nunca desistir.

Obrigado mãe, pai e irmão.





## **palavras-chave**

Energias Renováveis, Desenvolvimento Sustentável, Eficiência Energética

## **resumo**

O objectivo fundamental desta tese visa aprofundar o conhecimento no domínio das tecnologias energéticas, gestão e desenvolvimento sustentável, com vista à racionalização e utilização eficiente de energia em edifícios.

A recente regulamentação no domínio da térmica de edifícios veio conferir grande importância à integração e utilização de sistemas baseados em energias renováveis, o que poderá melhorar a qualidade de vida nos edifícios através de uma utilização mais racional de energia.

Neste contexto, foi feita, numa primeira fase, uma análise ao comportamento térmico de um edifício para três zonas em Portugal com características climáticas distintas para, a partir daí, tentar perceber as principais diferenças relativamente às exigências do regulamento em vigor com a disparidade dos consumos energéticos nessas regiões. Por se ter constatado essas diferenças, procurou-se reduzir significativamente o gasto de energia para a climatização do edifício, procedendo-se a alterações ao nível das características do edifício, designadamente ao nível da envolvente opaca do edifício e vãos envidraçados.

Outro tema abordado refere-se à problemática da sustentabilidade no ramo da energia, consumo e fontes renováveis: uma primeira parte, descreveu-se as fontes de energia que podem ser aplicadas ao sector dos edifícios. Na segunda parte, dimensionaram-se as várias fontes renováveis de energia para se tornar o edifício produtor da totalidade da energia necessária ao seu abastecimento.

Por fim, foi feito um estudo da viabilidade económica sobre as diferentes hipóteses consideradas para se verificar se as alterações propostas são ou não vantajosas

As conclusões retiradas, são que o mesmo edifício comporta-se de modo distinto consoante a região climática em que está inserido. Assim, em Bragança o edifício necessita de uma elevada quantidade de energia para suprir as necessidades climáticas durante o Inverno. No Verão, como o clima é muito mais quente o edifício situado em Beja apresenta necessidades de arrefecimento mais elevadas.

As alterações propostas ao nível do comportamento térmico são claramente vantajosas, tanto do ponto de vista da qualidade de vida como economicamente, já que ao fim de relativamente pouco tempo o investimento é completamente amortizado.

Contudo, no que se refere à utilização das fontes renováveis de energia, o investimento só fica amortizado quase no fim da vida útil considerada para o equipamento, pelo que economicamente não é, para já, uma aposta muito rentável. Porém, em termos ambientais, é sem dúvida a melhor opção.



**keywords**

Renewable Energies, Sustainable Development, Energetic Efficiency

**abstract**

The fundamental aim of this paper is to expand the knowledge of the energetic technologies, management and sustainable development in order to rationalize and make an efficient use of energy in buildings.

Recent regulation in the thermal performance of buildings gave great importance to the integration and use of renewable energy systems that, could improve the quality of life in the buildings through a more rational use of energy.

In this context, in a first phase, a thermal behaviour analysis of a building was made, in three Portuguese regions with different climatic characteristics to allow understanding the main differences related to the regulation in force demands with the energetic consumption disparity in these regions. When these differences were detected, considerable reductions on the energy spent to climate the building, were made possible by altering the building characteristics specially the opaque enclosure of the building and the glass spans.

Another important theme, refers to the problematic of sustainability in the fields of energy, consumption and renewable sources: in a first phase, energy sources that can be applied in the building sector were described. On a second phase, the different renewable energy sources were studied in order to make the building produce all the energy needed to supply itself.

Finally, an economic viability study was made, regarding the different hypothesis considered to check if the proposed changes are profitable or not.

The conclusion is that the same building has different behaviours according to the climatic region surrounding it. So, the building in Bragança needs a higher energy output to supply its climatic needs during winter. On summer, because the weather is hotter, the building located in Beja shows higher cooling needs.

The proposed changes on thermal behaviour are clearly profitable, not only for the quality of life but also economically since after short time the investment is completely amortized.

However, in terms of using renewable energy sources, the investment is just amortized almost by the end of the useful life of said equipment. Economically speaking it is not, by now, a rentable solution. However, in environmental terms this is, for sure, the best option.



<b>ÍNDICE</b>	
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>I.1. OBJECTIVOS</b>	<b>3</b>
<b>I.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO</b>	<b>3</b>
 <b>CAPÍTULO II</b>	 <b>5</b>
<b>II.1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE</b>	<b>7</b>
<b>II.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DESAFIOS PARA O SECTOR DA CONSTRUÇÃO</b>	<b>9</b>
II.2.1. MATERIAIS, PRODUTOS E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO	9
II.2.2. GESTÃO DO CICLO HIDROLÓGICO	11
II.2.3. REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	13
II.2.4. ENERGIA, CONSUMO E FONTES RENOVÁVEIS	14
 <b>CAPÍTULO III</b>	 <b>15</b>
<b>III.1. TIPOS E FONTES DE ENERGIA</b>	<b>17</b>
<b>III.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA</b>	<b>18</b>
<b>III.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL</b>	<b>20</b>
<b>III.4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>23</b>
<b>III.5. CONSTRUÇÃO BIOCLIMÁTICA</b>	<b>24</b>
III.5.1. SISTEMAS PASSIVOS PARA AQUECIMENTO	25
III.5.2. SISTEMAS PASSIVOS PARA ARREFECIMENTO	28
<b>III.6. NOVA LEGISLAÇÃO PARA OS EDIFÍCIOS</b>	<b>28</b>
III.6.1. A CERTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	29
III.6.2. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)	31
III.6.3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)	32
<b>III.7. ENERGIAS RENOVÁVEIS</b>	<b>33</b>
III.7.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL: O PRESENTE E O FUTURO	33
III.7.2 TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS APLICÁVEIS EM EDIFÍCIOS	34
III.7.2.1. Energia Solar Térmica	35
III.7.2.2. Energia Solar Fotovoltaica	38
III.7.2.3. Energia Eólica	41
III.7.2.4. Energia Geotérmica	42

III.7.2.5. Energia Aerotérmica	44
III.7.2.6. Energia da Biomassa	45
CAPÍTULO IV	47
IV.1. ESTUDO DE CASO	49
IV.1.1. DESCRIÇÃO DOS CASOS PROPOSTOS	49
IV.1.2. APLICAÇÃO DO RCCTE	51
IV.1.3. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	68
IV.1.4. ENERGIA NECESSÁRIA PARA ABASTECER O EDIFÍCIO	73
IV.1.5. SELECÇÃO DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	78
IV.1.6. TIPO DE ARMAZENAMENTO DA ENERGIA	96
IV.1.7. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA	98
CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	113



## CAPÍTULO I

1. OBJECTIVOS
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO





## **1. OBJECTIVOS**

---

O objectivo fundamental desta tese visa aprofundar o conhecimento no domínio das tecnologias energéticas, gestão e desenvolvimento sustentável, com vista à racionalização e utilização eficiente de energia em edifícios.

Um dos propósitos da elaboração desta dissertação é a compilação num único documento de toda a informação relevante relativa à temática da energia associada à construção sustentável, possibilitando a divulgação a todos os cidadãos que estejam interessados em aplicar os conceitos aqui abordados na sua habitação, tornando-a energeticamente mais sustentável.

Assim, pretende-se focar alguns conceitos relacionados com construção sustentável, eficiência energética e energias renováveis, sendo no final feita uma análise económica a fim de se averiguar a viabilidade das soluções propostas.

## **2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

---

A presente dissertação está estruturada em 4 capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução do trabalho.

O estado da arte compreende os dois capítulos seguintes, um relativo à construção sustentável e o outro referente à energia. No primeiro serão abordadas as diversas áreas relativas ao desenvolvimento sustentável aplicadas ao sector da construção de edifícios. O capítulo 3 abrange tudo o que está relacionado com energia, desde uma breve descrição da sua evolução cronológica até à enumeração dos diversos tipos de energias renováveis que podem ser instaladas num edifício de habitação, passando pela apresentação da regulamentação em vigor.

O último capítulo refere-se ao estudo de caso, incluindo a apresentação e discussão dos resultados obtidos, a análise da viabilidade económica das soluções propostas e finalmente, serão apresentadas uma série de conclusões finais.





- ## CAPÍTULO II
1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
  2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DESAFIOS PARA O SECTOR DA CONSTRUÇÃO
    - 2.1. MATERIAIS, PRODUTOS E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO
    - 2.2. GESTÃO DO CICLO HIDROLÓGICO
    - 2.3. REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS
    - 2.4. ENERGIA, CONSUMO E FONTES RENOVÁVEIS





## 1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável tem suscitado grande interesse e, como tal, tem sido objecto de uma discussão crescente, principalmente após a Cimeira da Terra [3] realizada no Rio de Janeiro em 1992. Esta conferência teve como objectivo primordial inverter a situação ambiental a nível mundial, assumindo-se um valor ambiental equiparável ao desenvolvimento sócio-económico. Nesta altura já estava definido o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo “o desenvolvimento que responde às necessidades presentes sem comprometer as possibilidades das gerações futuras responderem às suas necessidades” [2]. De forma a alcançar os objectivos estabelecidos na cimeira, Portugal, entre outros países, definiu um conjunto de metas que visam promover a sustentabilidade. Estas estratégias abrangem diversas áreas, designadamente:

- Garantir o desenvolvimento equilibrado do território;
- Melhorar a qualidade do ambiente;
- Promover a produção e consumo sustentáveis;
- Contribuir para uma sociedade solidária e do conhecimento.

Estas metas assentam nas três vertentes [39] essenciais do desenvolvimento sustentável, como se indica na figura seguinte:

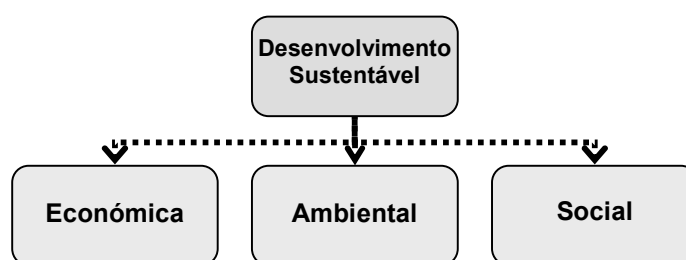


Figura 1 – Pilares do desenvolvimento sustentável

Para a avaliação da sustentabilidade do desenvolvimento, houve a necessidade de se criarem indicadores de sustentabilidade que reflectissem a situação nacional, não apenas a nível económico, mas também em termos ambientais e sociais. Existem diversas categorias

de indicadores que se podem considerar para a avaliação de um dado país ou região, destacando-se os seguintes [16]:

- Indicadores económicos;
- Indicadores ambientais;
- Indicadores sociais.

Em 1993 a OCDE (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico), partindo de vários indicadores ambientais, criou um modelo, que designou por modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) [16], com o objectivo de sistematizar as relações entre os vários elementos do ciclo ambiental.

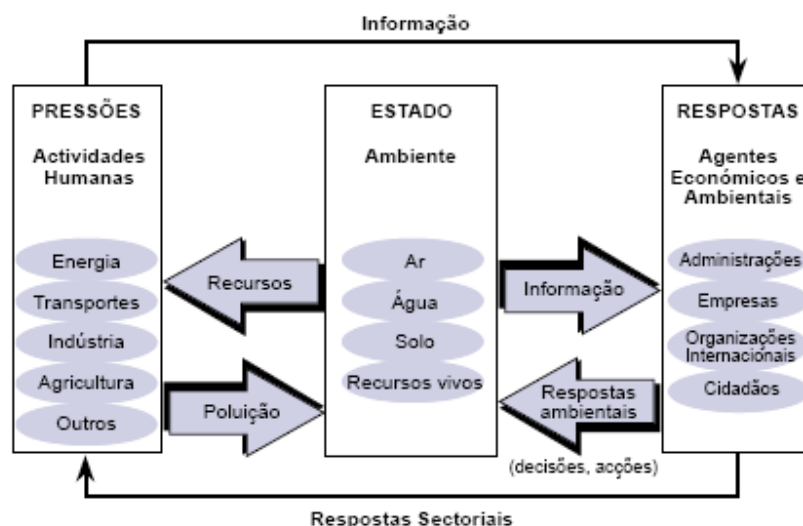


Figura 2 – Modelo PER representativo do ciclo ambiental [16]

Pela análise da figura, constata-se que as diversas actividades humanas produzem vários tipos de poluição que afectam o estado do ambiente, daí a necessidade da sociedade apresentar respostas para a resolução desses problemas ambientais. O ponto fulcral deste ciclo centra-se nas actividades humanas, pelo que deve ser repensada a forma de actuação para se evitar pressões no meio ambiente que provocam o excesso de poluição e que se reflecte nos agentes económicos e ambientais.

## **2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DESAFIOS PARA O SECTOR DA CONSTRUÇÃO**

---

O desafio da construção sustentável requer uma abordagem ampla e pluridisciplinar e não apenas uma única perspectiva. Deste modo, torna-se importante intervir em diversas áreas para proporcionar uma melhoria significativa na qualidade de vida quotidiana das populações. Assim, em particular para o sector dos edifícios, destacam-se as seguintes áreas das políticas de sustentabilidade [22]:

- Materiais, produtos e resíduos da construção;
- Gestão do ciclo hidrológico;
- Reabilitação de edifícios;
- Energia, consumo e fontes renováveis;

O próximo passo será descrever mais em pormenor cada uma das áreas anteriormente referidas, para que se possa aplicar a um caso concreto de um edifício de habitação, visto que estes consomem grandes quantidades de recursos na sua construção, uso e manutenção.

### **2.1. MATERIAIS, PRODUTOS E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO**

A sustentabilidade no sector da construção é um conceito pluridisciplinar que, para a sua implementação, requer a cumplicidade de todos os agentes implicados, desde a fase do planeamento do território em que intervêm os políticos e urbanistas na definição das medidas de planeamento, passando pela fase de concepção do projecto, em que os projectistas tentam criar edifícios mais eficientes na optimização dos recursos energéticos e, finalmente os utilizadores finais que devem utilizar da forma mais racional o edifício.

Na construção de um edifício a fase que tem maior peso em termos de consumo de energia é a fase da produção dos materiais em que, dependendo das matérias-primas empregues no

seu fabrico, se gasta uma elevada energia de produção. Isto deve-se à utilização crescente de materiais industrializados, em detrimento de materiais naturais pouco transformados.

Durante a fase da obra existem alguns consumos energéticos importantes que devem ser referidos, podendo dividir-se em consumos directos e consumos indirectos. Os consumos directos traduzem os consumos relativos ao estaleiro e à actividade laboral dos operários. Os consumos indirectos dizem respeito ao fabrico e manutenção dos equipamentos em obra e ao transporte dos operários e equipamentos. Convém referir que os consumos directos têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido à crescente utilização de equipamentos mecânicos, representando um gasto significativo em termos de combustível e electricidade.

Finalmente, a fase de utilização do edifício é aquela que representa a maior fatia relativamente ao consumo energético total, podendo dividir-se os consumos em dois grupos: conforto e manutenção. No que diz respeito ao conforto, os consumos traduzem-se nas questões de conforto higrotérmico (climatização e ventilação) e de iluminação da habitação. Estes aspectos devem ser ponderados durante a concepção do projecto para se evitar erros que se traduzem em gastos elevados na utilização final do edifício. Quanto aos consumos de energia na manutenção dos edifícios, estes representam os trabalhos indispensáveis para manter a habitabilidade do edifício, desde os trabalhos de limpeza aos trabalhos de reabilitação de determinados espaços.

Até ao momento apenas se referiu os consumos de energia de um edifício durante a sua vida útil. Contudo, quando a reabilitação do edifício não é economicamente viável e se pretende construir um novo edifício no mesmo local há que considerar os consumos de energia relativos à demolição. Assim, o estudo dos impactes ambientais dos edifícios tem que ser alargado até à fase de demolição, representando esta fase cerca de 10% da energia total gasta desde a fase de concepção. Nesta fase consideram-se os trabalhos de desmantelamento e transporte dos resíduos sobrantes para vazadouro ou para reciclagem, devendo dar-se, sempre que possível, prioridade à reciclagem em detrimento da colocação dos resíduos em vazadouro, para evitar a poluição ambiental.



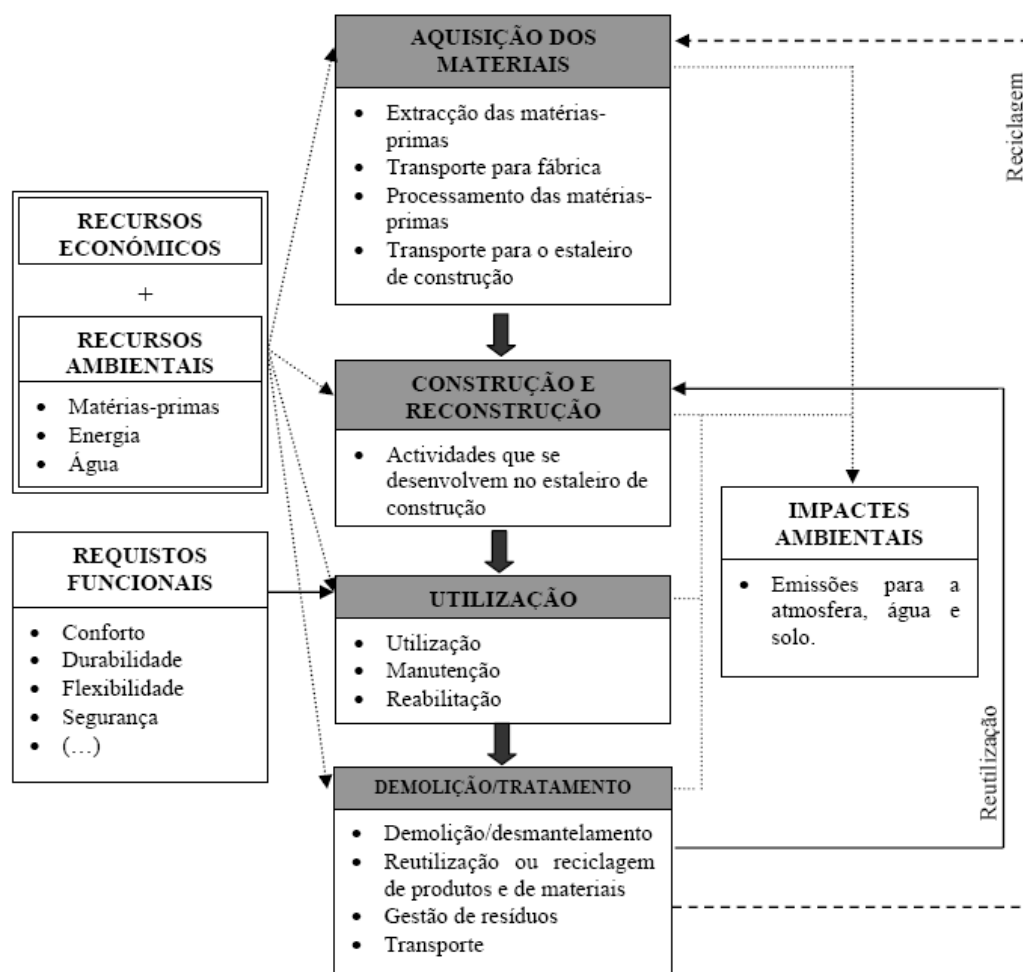


Figura 3 – Representação do ciclo de vida de um edifício

De forma esquemática é possível dividir os impactes ambientais dos edifícios ao longo da sua vida útil com a representação dos vários “inputs” e “outputs” nas diversas fases descritas anteriormente. Os “inputs” traduzem a energia e matérias-primas consumidas e, os “outputs” dizem respeito às diferentes formas de poluição atmosférica e aos resíduos da construção.

## 2.2. GESTÃO DO CICLO HIDROLÓGICO

A água é um bem finito que exige uma utilização racional. Nos últimos anos tem ocorrido um crescimento significativo da população, com uma melhoria das condições de vida dos

cidadãos e uma crescente ocupação do território, contribuindo para o aumento do consumo de água, bem como para a contaminação dos leitos de água e a diminuição da reposição por infiltração natural dos solos. A fim de evitar problemas mais graves num futuro próximo, torna-se crucial adoptar medidas para ajudar a reduzir o consumo e minimizar o desperdício de água potável. Desta forma, é necessário intervir em duas vertentes distintas. Por um lado, é importante fazer uma boa gestão das infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais. Por outro lado, é necessário analisar a viabilidade dos sistemas de recolha e uso das águas pluviais.

Por forma a reduzir o consumo de água potável é possível reutilizar as águas residuais que, após passarem por um tratamento específico ficam aptas para serem utilizadas por exemplo na rega dos jardins, lavagem de pátios e automóveis, entre outros fins, contribuindo-se assim para a preservação deste recurso cada vez mais escasso e para a redução da poluição dos cursos de água. Existem vários métodos para tratamento das águas residuais, conforme sejam águas negras ou cinzentas, devendo ser tratadas separadamente para que sejam utilizadas em diferentes situações. Por exemplo, as águas cinzentas depois de tratadas podem ser utilizadas para rega de jardins e lavagens de pátios, mas também podem ser utilizadas no autoclismo. Contudo, as águas negras devem apenas ser utilizadas para a rega de jardins. O tratamento das águas residuais consiste basicamente num processo de filtração, passando o efluente por um tanque constituído por inertes de várias granulometrias. Contudo, os sistemas de tratamento de águas residuais actualmente disponíveis no mercado obrigam a um investimento elevado o que faz com que seja um factor desincentivador, sendo o investimento amortizado ao fim de longos anos.

Outra forma eficaz de reduzir o consumo de água potável numa habitação passa pelo aproveitamento das águas pluviais [29], sendo apenas necessário ter um sistema de recolha e armazenamento das águas provenientes da chuva, ao contrário das águas residuais que obriga a ter um sistema de tratamento. Assim, o processo de aproveitamento de águas pluviais torna-se economicamente muito viável já que, a grande maioria das habitações possuem um sistema de recolha destas águas. A água armazenada pode ser utilizada para descarga do autoclismo, rega de jardins, entre outros. Como se pode ver na figura

apresentada, o armazenamento faz-se através da colocação no solo de um depósito que, de acordo com o tipo de edifício pode apresentar várias dimensões.



Figura 4 – Exemplo de depósito para recolha de águas pluviais [29]

### **2.3. REABILITAÇÃO DOS EDIFÍCIOS**

A reabilitação dos edifícios constitui uma óptima alternativa à nova construção, contribuindo para a redução da ocupação do território e o consumo desnecessário de recursos. No ponto 2.1 deste capítulo fez-se referência ao ciclo de vida do edifício, sendo facilmente perceptível que, optando-se pela reabilitação poupa-se uma série de recursos, principalmente na fase de demolição, contribuindo assim para a diminuição da energia total gasta na construção de um edifício. Assim, a reabilitação dos edifícios constitui uma via importante para atingir os objectivos da sustentabilidade, apresentando vantagens ao nível ambiental, social e económico. Quando se opta pela reabilitação de um edifício, é importante ter em atenção não só os aspectos ligados à construção propriamente dita, ou seja, em relação aos materiais utilizados, mas também aos aspectos relacionados com a melhoria das condições de conforto, bem como no aumento da eficiência energética para que se reduza os consumos de energia durante a fase de utilização.

#### **2.4. ENERGIA, CONSUMO E FONTES RENOVÁVEIS**

A energia é um tema incontornável quando se discute o problema da sustentabilidade. Importa referir que, sendo a energia uma necessidade básica da sociedade moderna, a dependência dos combustíveis fósseis elevou as concentrações de gases nocivos ao ambiente, intensificando o efeito de estufa e consequentemente provocando o aquecimento global e outras alterações climáticas.

Para que seja possível minimizar tais impactos, convém actuar ao nível do consumo de energia, melhorando o desempenho energético dos edifícios, aplicando os conceitos mencionados no capítulo seguinte.

Relativamente às fontes renováveis, é importante apostar na integração de equipamentos de produção de energia renovável nos edifícios, adoptando soluções arquitectónicas e construtivas de forma a aproveitar ao máximo a energia disponível.

Este trabalho pretende abordar uma das questões relevantes da sustentabilidade, isto é, a que envolve as fontes renováveis da energia e a sua aplicação na construção.



<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>1.</b>	<b>TIPOS E FONTES DE ENERGIA</b>
<b>2.</b>	<b>EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA</b>
<b>3.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL</b>
<b>4.</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>
<b>5.</b>	<b>CONSTRUÇÃO BIOCLIMÁTICA</b>
5.1.	SISTEMAS PASSIVOS PARA AQUECIMENTO
5.2.	SISTEMAS PASSIVOS PARA ARREFECIMENTO
<b>6.</b>	<b>NOVA LEGISLAÇÃO PARA OS EDIFÍCIOS</b>
6.1.	A CERTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS
6.2.	REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)
6.3.	REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)
<b>7.</b>	<b>ENERGIAS RENOVÁVEIS</b>
7.1.	ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL: O PRESENTE E O FUTURO
7.2.	TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS APLICÁVEIS EM EDIFÍCIOS
7.2.1.	Energia Solar Térmica
7.2.2.	Energia Solar Fotovoltaica
7.2.3.	Energia Eólica
7.2.4.	Energia Geotérmica
7.2.5.	Energia Aerotérmica
7.2.6.	Energia da Biomassa





## 1. TIPOS E FONTES DE ENERGIA

---

As energias dividem-se em renováveis e não renováveis, consoante o ciclo de renovação da matéria-prima que lhe dá origem. As fontes de energia não renovável são aquelas passíveis de se esgotarem num futuro próximo, já que o seu ciclo de renovação é de centenas de milhões de anos, ao contrário das energias renováveis que são teoricamente inesgotáveis, como é o caso da energia solar.

Como fontes de energia não renovável destacam-se o carvão, petróleo e o gás natural, que resultam da deposição e degradação de plantas e animais durante vários milhões de anos. A extracção das diversas matérias-primas é feita através de tecnologias amplamente implementadas a nível mundial. Os custos de exploração e produção de energia são relativamente baixos e, por essa razão, a sua utilização como fonte energética continua difícil de limitar e substituir pelas energias renováveis. Outra das fontes de energia não renovável muito utilizada é a energia nuclear sendo a matéria-prima que lhe dá origem o urânio. Com uma pequena quantidade de urânio é possível produzir bastante energia, pelo que se prevê que se possa utilizar este recurso nos próximos milhares de anos.

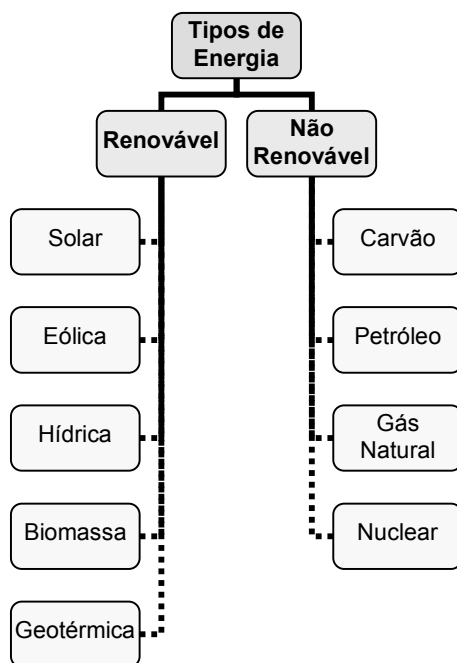


Figura 5 – Representação esquemática de várias fontes de energia disponíveis

Relativamente às fontes de energia renováveis, destacam-se a solar, eólica, hídrica, a energia proveniente da biomassa e a geotérmica. Consideram-se fontes de energia inesgotáveis ou que podem ter repostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana.

## **2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA**

---

Com a evolução do Homem, os tipos de energia utilizados têm-se alterado. Inicialmente, o Homem dependia exclusivamente de energias renováveis. O sol era a única fonte de energia, utilizada para iluminação e aquecimento. Mais tarde, surgiu a lenha, cuja utilização era extremamente útil para cozinhar os alimentos e para suprir as necessidades de aquecimento. O recurso a esta matéria-prima, permitiu ao Homem ganhar uma autonomia energética sobre a natureza, já que era possível o seu uso durante o período nocturno.

Uns séculos depois, o Homem começou a utilizar a energia proveniente do vento (energia eólica) para a bombagem de água e moagem de cereais através da invenção do moinho de vento. Mais tarde, surgiu o moinho de água para aproveitamento da energia proveniente dos leitos de água (energia hídrica).

Até ao século XIX, as energias renováveis desempenhavam um papel fundamental nas economias agrárias, completando-se com a energia proveniente da combustão da madeira.

Após a revolução industrial começou a utilizar-se as energias não renováveis, como é o caso do carvão que passou a ser a fonte de energia transformada dominante.

Com a crescente evolução do sector industrial, os consumos energéticos dispararam, havendo a necessidade de recorrer a outro tipo de matéria-prima para a produção de energia, como é o caso do petróleo e do gás natural que, em 1950 eram já as fontes de energia transformadas predominantes. A exploração do petróleo para ser utilizado como fonte de energia foi crescendo acentuadamente até meados da década de 70, momento em que ocorreu a crise petrolífera levantada pela OPEP. Nessa altura a energia proveniente do petróleo representava 47.4% da energia total produzida, sendo que o gás natural contribuía com 21.6%, crescendo ligeiramente após a crise do petróleo. Até 1982, o consumo de petróleo diminuiu significativamente, aumentando um pouco até 1990, em que 38.6% da



energia comercial a nível mundial era obtida através do petróleo. Esta diminuição do consumo deveu-se, sobretudo, à redução de consumo nos países desenvolvidos ao aperceberem-se da gravidade da situação num futuro próximo, caso mantivessem o mesmo nível de consumo energético. Na década de 90 os EUA apresentavam o consumo de petróleo por habitante e por ano mais elevado do mundo [20].

Recentemente, assiste-se a uma preocupação crescente em torno do ambiente, numa perspectiva de definição de estratégias de intervenção com vista à redução da energia produzida através de fontes não renováveis. Nesse sentido, têm sido promovidas algumas cimeiras internacionais para traçar objectivos de sustentabilidade, como é o caso da cimeira do Rio de Janeiro (1992) onde se propõe a adopção das agendas 21 como medidas a implementar a nível local e da cimeira de Quioto (1997) para redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

As Agendas 21 [3], criadas na Cimeira do Rio (ou Cimeira da Terra), visam traçar um plano de acção global para proteger o ambiente das alterações climáticas verificadas principalmente ao longo dos últimos anos. As Agendas 21 definem um conjunto de políticas para se alcançar um modelo de desenvolvimento sustentável a fim de atender as necessidades das sociedades e impor limites ao desenvolvimento a nível global. Trata-se de um modelo participativo da sociedade com o objectivo de encontrar soluções para os principais problemas relacionados com o meio ambiente.

O Protocolo de Quioto, onde participaram cerca de 125 entidades governamentais de todo o mundo, teve como principal objectivo a adopção de um protocolo legalmente vinculativo em que 39 países industrializados se comprometeram limitar durante o período de 2008-2012 as suas emissões de gases com efeito de estufa na atmosfera. Portugal estabeleceu como meta a atingir até 2012 reduzir as suas emissões em 27% em relação ao ano de 1990. Para ser possível atingir estas metas, o protocolo prevê um conjunto de mecanismos, denominados por mecanismos de flexibilidade, destacando-se o comércio de emissões, a implementação conjunta e o desenvolvimento limpo. O comércio de emissões permite aos países industrializados comprar e vender direitos de poluir, ou seja, um país pouco poluidor tem a possibilidade de beneficiar através da venda de direitos de emissão de gases. Em relação à implementação conjunta, este mecanismo visa permitir aos países mais desenvolvidos financiar projectos de modo a reduzir as emissões nos países menos desenvolvidos. Este mecanismo está directamente relacionado com o desenvolvimento

limpo, permitindo aos países que investem em projectos limpos para o ambiente ganhar créditos de emissão.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM PORTUGAL**

---

Na última década, a construção de novos edifícios residenciais tem diminuído consideravelmente, prevendo-se um cenário de estagnação nos próximos anos, o que reflecte uma maior preocupação da sociedade com as questões da reabilitação do parque habitacional. No entanto, os consumos energéticos em Portugal no sector dos edifícios apresentam uma taxa de crescimento bastante significativa, representando cerca de 20% da energia total consumida em Portugal.

De acordo com os últimos dados disponibilizados pela Direcção Geral de Energia [31], o crescimento médio anual dos consumos de energia nos edifícios de habitação entre 1990 e 2000 foi de 3.7%, correspondendo no ano 2000 a cerca de 2.15 Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo), o que representa 13% do consumo de energia final a nível nacional.

Apesar de Portugal se encontrar abaixo da média Europeia no que respeita ao consumo de energia no sector dos edifícios, o nível de qualidade e de conforto dos edifícios tem aumentado exponencialmente na última década. Tal diferença deve-se às características do clima que Portugal apresenta comparativamente com outros países em que o clima é bastante frio, sendo as necessidades de aquecimento elevadas.

Com o aumento do nível de vida, existe um conjunto de comodidades que foram sendo postas à disposição dos utilizadores dos edifícios de habitação, tais como:

- Necessidades ligadas à higiene (águas quentes sanitárias, máquinas de lavar);
- Necessidades básicas (fogão, frigorífico);
- Necessidades de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento);
- Necessidades de entretenimento (TV, computador).

Estas comodidades traduzem-se num maior consumo de energia, implicando um aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

Outra razão para o aumento do consumo de energia deve-se à falta de manutenção e substituição dos equipamentos obsoletos, ao uso indevido dos diversos equipamentos e à falta de reabilitação dos edifícios, o que por vezes seria amortizável em poucos anos de utilização.

Para que se possa melhorar a eficiência térmica e energética dos edifícios residenciais é necessário dividir os diferentes consumos de energia em áreas de consumo, dos quais se destacam os seguintes: cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS) que representam cerca de 50% da energia consumida num edifício, iluminação e electrodomésticos que consomem aproximadamente 25% da energia e, por fim, os equipamentos de climatização (aquecimento e arrefecimento), em que a energia consumida representa cerca de 25% da energia total consumida numa habitação. Obviamente, estes valores traduzem o consumo de uma determinada amostra, podendo variar entre regiões ou mesmo entre sectores populacionais.

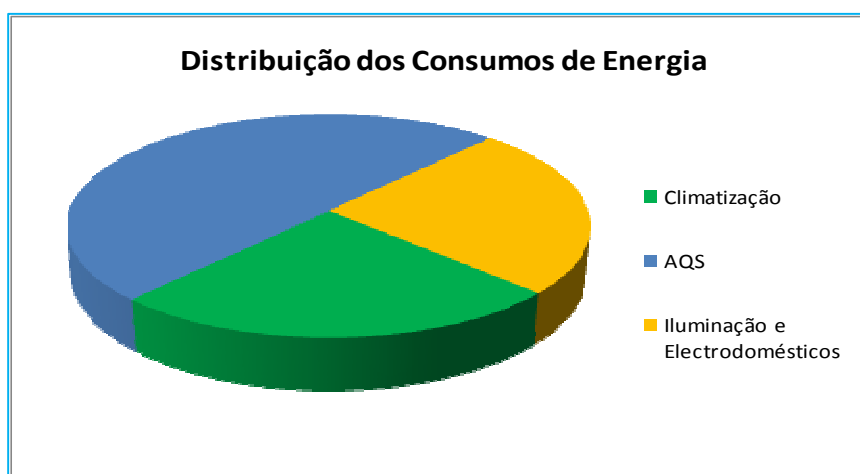


Figura 6 – Distribuição dos consumos de energia em edifícios residenciais por áreas de consumo [12]

Como se pode constatar através do gráfico, a água quente sanitária tem um peso significativo nos consumos globais de energia, pelo que se torna de extrema importância a utilização de colectores solares, como prevê o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, que mais adiante se apresenta.

Os consumos energéticos em iluminação e em equipamentos electrodomésticos têm também um peso significativo na factura mensal de electricidade, representando cerca de 25% da energia total utilizada numa habitação. Para a redução desta parcela é fundamental intervir na optimização da iluminação natural, apesar que em edifícios de habitação, a ocupação nocturna é mais frequente. No que respeita aos equipamentos é importante melhorar a sua eficiência energética, através da etiquetagem energética, o que facilitará a escolha mais adequada, dos diversos equipamentos, por parte dos consumidores.

Por fim, outro dos consumos importantes de energia, está relacionado com a climatização do edifício, ou seja, diz respeito ao conforto térmico, quer haja necessidade de aquecimento (Inverno) ou arrefecimento (Verão). Hoje em dia, existe uma vasta gama de equipamentos de climatização com diversas tecnologias, em que o consumo de energia eléctrica é reduzido, optando-se pela utilização de energias endógenas, diminuindo a tarifa eléctrica.

Se se analisar a evolução ao longo dos últimos anos do consumo de energia despendida no conforto térmico constata-se um aumento significativo deste tipo de consumo, esperando-se que aumente cada vez mais para responder às exigências de conforto individual à medida que o nível de vida aumenta. Contudo, a fim de evitar unicamente o recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento mecânicos, deve dar-se prioridade à construção bioclimática que, como se verá num capítulo posterior, tem como objectivo atingir as condições de equilíbrio e conforto térmico, através da modificação de algumas características construtivas.

Para finalizar este capítulo, é importante salientar que deverá haver uma elevada preocupação em diminuir os consumos energéticos nos edifícios para a redução das emissões de gases precursores do efeito de estufa associadas ao sector da construção, pelo que se torna premente uma especial atenção por parte de todos os agentes envolvidos. É fundamental que os novos edifícios sejam menos consumidores, e os que já existem, possivelmente com pior desempenho, sejam melhorados.

#### **4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

---

A utilização racional de energia visa proporcionar o mesmo nível de qualidade de vida com o recurso a tecnologias que reduzem os consumos, diminuindo assim as emissões de poluentes associadas à conversão de energia.

Com a finalidade de responder positivamente às metas impostas pela União Europeia, Portugal, ao longo dos anos, criou alguns programas com o intuito de incentivar a população a ter alguns cuidados ao nível da poupança de energia, contribuindo desta forma para a redução significativa das emissões de gases poluentes para a atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis usados na produção de calor e de electricidade.

Inicialmente surgiu o Programa de Eficiência Energética e Energias Endógenas, também denominado por Programa E4 (Resolução do Conselho de Ministros nº154/2001), tendo como objectivos principais a “...promoção da eficiência energética e valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da sociedade, salvaguardando a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução das emissões, responsáveis pelas alterações climáticas” [8]. Este programa traduz especial importância no cumprimento das estratégias assumidas no Protocolo de Quioto.

No que diz respeito à eficiência energética, este programa visa promover a utilização racional de energia, abrangendo os diversos consumos existentes numa habitação, como é o caso do aquecimento das águas quentes sanitárias ou climatização do edifício, passando pelo sistema de iluminação, bem como pelos electrodomésticos e outros equipamentos, assegurando assim o conforto dos utilizadores do edifício.

Por outro lado, quando se refere às energias endógenas, o programa pretende promover a utilização das energias renováveis e das novas tecnologias energéticas.

Visto que o Programa E4 abrange diversos sectores do panorama nacional, houve a necessidade de criar um programa específico aplicado aos edifícios, designado por Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E) [8]. Como o próprio

nome indica, este programa estabelece um conjunto de medidas com o objectivo de melhorar a eficiência energética dos edifícios nacionais. Algumas das medidas mais importantes estabelecidas neste programa são a revisão dos regulamentos térmicos dos edifícios, RCCTE e RSECE e, a criação de um sistema de certificação energética.

Em 2006, Portugal, em conjunto com a União Europeia, comprometeu-se a atingir algumas metas, entre as quais se destacam as seguintes [8]:

- Redução em 20% das emissões de gases poluentes para a atmosfera;
- Melhoria em 20% da eficiência energética dos edifícios;
- Aumento de 20% da utilização das energias renováveis.

De referir que o acordo estabelecido entre ambas as partes, tem como limite até final de 2010, pelo que Portugal ainda terá que reunir esforços para cumprir estes objectivos.

Mais recentemente surgiu o Decreto-Lei nº 363/2007 de 02 de Novembro que estabelece o regime de microprodução de electricidade, possibilitando aos consumidores domésticos a venda da energia produzida através da utilização de energias renováveis, como é o caso dos painéis solares térmicos e da energia eólica. Apesar do preço do KWh ser bastante elevado, este preço apenas é fixado para um período de 5 anos, sendo que posteriormente este valor poderá ser significativamente mais reduzido. Os custos de investimento para instalação de equipamentos de energias renováveis ainda são muito elevados, pelo que o tempo de amortização se torna longo consoante o tipo de sistema pretendido. Convém salientar o facto de que o consumidor para poder usufruir destes benefícios, terá que adquirir um sistema solar térmico que possibilita o aquecimento de água recorrendo à energia solar.

## **5. CONSTRUÇÃO BIOCLIMÁTICA**

---

A construção bioclimática não é mais que projectar um edifício tendo em conta toda a envolvência climática e características ambientais do local em que se insere. O objectivo é minimizar o consumo energético para manutenção do conforto ambiental recorrendo ao uso

de estratégias de design, nomeadamente, a alteração de alguns elementos arquitectónicos, contribuindo para a redução da necessidade de utilização de meios mecânicos de climatização e iluminação [17].

Para a melhoria das condições de conforto no interior do edifício é essencial fazer o equilíbrio entre as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Assim, poder-se-á optar por dois tipos de sistemas passivos: sistemas passivos de aquecimento e sistemas de refrigeração passiva. Para além dos passivos, existem os sistemas activos que englobam os sistemas de aquecimento (colectores solares) e os sistemas energéticos (células fotovoltaicas). Neste capítulo descrevem-se alguns tipos de sistemas passivos, sendo os sistemas activos abordados num capítulo posterior.

Os sistemas passivos de aquecimento têm como objectivo maximizar a captação da radiação proveniente do sol, contribuindo para o aquecimento do edifício através do correcto dimensionamento e orientação dos vãos envidraçados e da envolvente opaca. Estes elementos permitem o armazenamento da energia solar e a sua utilização durante o período nocturno.

O objectivo dos sistemas de arrefecimento é retirar partido de fontes frias de modo a arrefecer o edifício até uma temperatura óptima de conforto. As principais fontes utilizadas para o arrefecimento são o ar exterior, durante determinados períodos (noite e manhã) e o solo que apresenta temperaturas inferiores à do ar exterior.

### **5.1. SISTEMAS PASSIVOS PARA AQUECIMENTO**

Os sistemas solares passivos para aquecimento podem ser classificados segundo três categorias distintas, consoante o tipo de captação e armazenamento da energia, em:

- Ganho directo;
- Ganho indirecto;
- Ganho isolado.

O ganho directo trata-se do método mais simples de captação de energia de radiação solar para aquecimento do interior do edifício. Denomina-se por ganho directo, por se tratar de um

mecanismo de absorção, armazenamento e libertação de energia que é feita directamente nos diversos compartimentos de uma habitação, isto é, a radiação incidente num vão ou numa parede exterior é transmitida ao compartimento correspondente. Devido ao efeito de estufa, a massa térmica que o elemento exterior possui é aquecida através da radiação solar durante o período diurno, sendo libertada para o interior do edifício durante o período nocturno. Para que este sistema seja o mais eficaz possível deve ter-se em atenção a dimensão e a orientação do vão envidraçado, preferencialmente a Sul, de modo a que as perdas por condução de calor não superem os ganhos no Inverno. Outro aspecto importante a considerar é o isolamento térmico eficiente dos elementos opacos e a protecção móvel dos envidraçados, de modo a reduzir as perdas de calor.

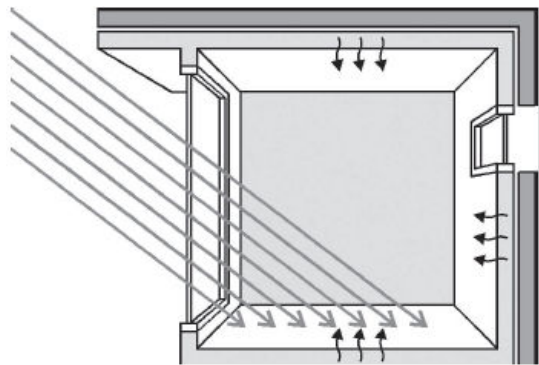


Figura 7 – Representação de sistema de ganho directo [30]

Nos sistemas passivos de aquecimento por ganho indirecto, a radiação solar que incide na envolvente de um edifício provoca o aquecimento da massa de ar situada entre a envolvente exterior e o interior do compartimento. A energia solar é transformada em energia térmica sendo depois transferida para o interior do edifício através de ventilação natural, permitindo ao utilizador regular o sistema de forma a evitar sobreaquecimentos. O sistema mais usual de ganho indirecto é a parede acumuladora, conhecida por parede de Trombe, podendo existir outros mecanismos como por exemplo as paredes e coberturas de água e o ganho indirecto através do pavimento. A figura representa a parede de Trombe funcionando como uma mini estufa, constituída por um vidro exterior, uma caixa-de-ar e uma parede de grande inércia. Esta parede interior apresenta um conjunto de orifícios possibilitando a recirculação de ar, fazendo com que todo o edifício possa ser aquecido através deste sistema. O objectivo deste sistema é a captação e acumulação de energia proveniente da radiação



solar. Esta radiação ao incidir no vidro faz com que o ar existente na caixa-de-ar seja aquecido, provocando também o aquecimento da parede interior, fazendo com que a energia acumulada por esta parede seja transferida para o interior do edifício durante o período nocturno. A inércia da parede interior torna-se importante para retardar a transmissão de energia, servindo de acumulador.

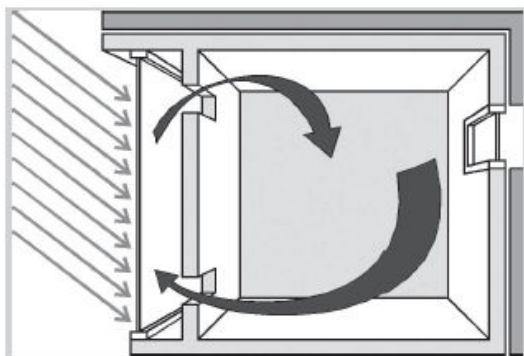


Fig. 8 – Representação de sistema de ganho indirecto [30]

Por último, o ganho isolado que, como o próprio nome indica, capta a energia da radiação solar através de um espaço ou elemento separado da zona habitável do edifício. Normalmente opta-se pela construção de uma estufa acoplada ao edifício ou, no caso de se pretender captar energia apenas através de um elemento, utiliza-se um sistema de termossifão. Importa referir que, durante a concepção da estufa é fundamental ter em atenção alguns aspectos de modo a torná-la o mais eficiente possível, tais como, a orientação solar e o tipo de material utilizado. Assim, o ideal será a estufa estar orientada a sul, empregando para a sua construção material que possua um amplo espectro de transmissividade, possibilitando um aumento da quantidade de energia transmitida e retida. Caso se pretenda instalar um sistema de termossifão, normalmente a captação, absorção e o armazenamento de energia, faz-se através de um depósito de material granular colocado sob o espaço que se quer aquecer, ao qual estão ligadas duas condutas para a carga e descarga térmica da energia acumulada, pela circulação de ar quente e frio.

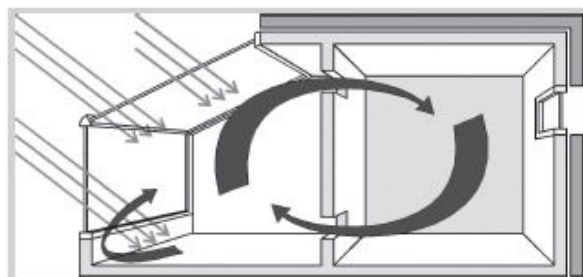


Figura 9 – Representação de sistema de ganho isolado [30]

## 5.2. SISTEMAS PASSIVOS PARA ARREFECIMENTO

Existem essencialmente dois sistemas passivos de arrefecimento que são a ventilação natural e o arrefecimento pelo solo.

A ventilação natural é um processo em que existe entrada de ar frio e saída de ar quente, provocado por diferenças de pressão entre o interior e o exterior, devido ao diferencial de temperaturas. Para retirar o máximo das potencialidades deste sistema é importante dimensionar correctamente as aberturas úteis para entrada e saída de ar, de forma a satisfazer o caudal de renovação de ar exigível.

No caso de se tratar de um sistema de arrefecimento pelo solo, o ar é conduzido por um sistema de condutas enterradas, entrando no edifício pelo piso inferior e, conseqüentemente, expulsando o ar quente na parte superior através de aberturas reguladas. O desempenho destes sistemas depende do tipo de condutas e da profundidade a que são colocadas, bem como da temperatura do ar e do solo.

## 6. NOVA LEGISLAÇÃO PARA OS EDIFÍCIOS

---

A partir do final do século XX o consumo energético dos edifícios sofreu um crescimento significativo para satisfazer as necessidades da população. Durante vários anos a legislação que regula o sector energético dos edifícios manteve-se inalterada. Contudo, para garantir a

redução das emissões de dióxido de carbono estabelecido através do Protocolo de Quioto e para manter o nível de conforto atingido houve a necessidade de actualizar a legislação existente, levando a União Europeia a apostar na eficiência energética dos edifícios com a criação de uma directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta directiva tem como objectivo incentivar os Membros da UE a criarem mecanismos que permitam melhorar o desempenho energético dos edifícios através da utilização de fontes de energia renovável na concepção dos edifícios e da criação de um sistema de certificação energética que permita a divulgação das características energéticas dos edifícios.

De modo a cumprir a normativa estabelecida pela UE, Portugal criou um pacote legislativo relativo às características e requisitos energéticos dos edifícios, dos quais se destacam os seguintes:

- Decreto-lei nº 78/2006, que define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE) [9];
- Decreto-lei nº 79/2006, que aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [10];
- Decreto-lei nº 80/2006, que aprova o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [11].

## **6.1. A CERTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS**

O DL 78/2006 destina-se a implementar um sistema de certificação para informar os cidadãos acerca da qualidade energética do edifício que pretendam adquirir.

De modo a facilitar a escolha entre vários imóveis, os utentes irão ter acesso ao Certificado Energético do Edifício, o qual inclui o cálculo dos consumos de energia previstos e respectivos custos, descrevendo a situação efectiva do desempenho energético.

No que respeita aos edifícios de habitação, o decreto-lei aplica-se a edifícios novos, edifícios reabilitados e aluguer / venda de edifícios existentes.

A certificação energética permite comparar a correcta aplicação da regulamentação térmica em vigor, bem como a obrigatoriedade de instalar sistemas de energias renováveis e ainda

assegurar a qualidade do ar interior. Esta regulamentação serve também para informar o consumidor sobre potenciais medidas que melhorem o desempenho energético do edifício e da sua viabilidade económica.

A cada edifício será atribuído uma classe de eficiência energética, semelhante às etiquetas energéticas dos electrodomésticos, consoante o seu desempenho. Esta avaliação será feita por entidades certificadas para o efeito, sendo emitido o certificado depois de efectuada uma vistoria.

A figura anteriormente apresentada representa o modelo a adoptar para a certificação energética de edifícios, devendo conter, para além de outras informações, os valores espectáveis do consumo energético e das emissões de CO<sub>2</sub>.

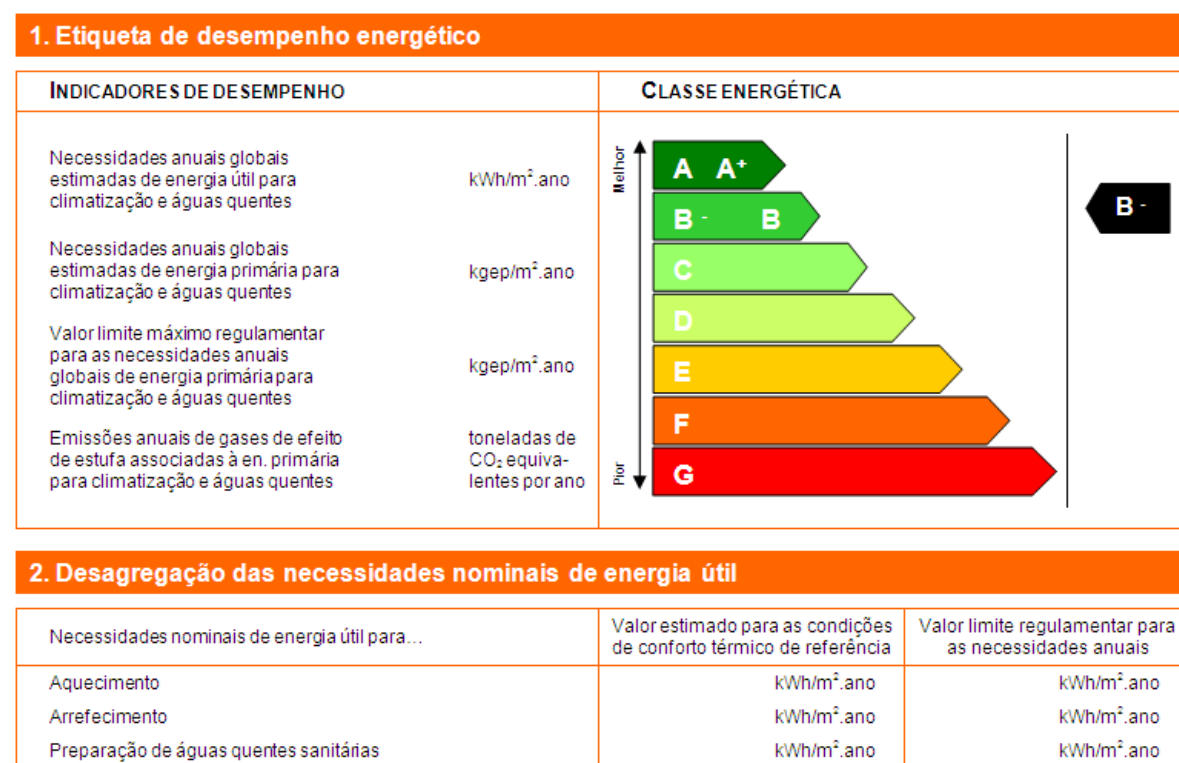


Figura 10 – Modelo de certificado energético para edifícios [27]

## **6.2. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)**

Este regulamento aplica-se a edifícios que apresentam consumos efectivos para climatização, podendo ser de aquecimento ou de arrefecimento, conforme as necessidades. Dirige-se sobretudo aos edifícios de serviços, mas também se aplica a edifícios residenciais em que os sistemas de climatização a instalar apresentam uma potência térmica superior a 25 kW.

O principal objectivo deste regulamento é impor regras de eficiência aos sistemas de climatização para evitar sobredimensionamentos exagerados que imperam neste sector e, assim, reduzir os consumos energéticos. Outro objectivo importante é a imposição de um conjunto de medidas de racionalização de consumos, como sejam a recuperação de calor, o arrefecimento gratuito e os sistemas de gestão de energia.

O regulamento aqui abordado contempla duas fases distintas, que são o projecto e a utilização do edifício. Na fase de projecto, o RSECE apresenta um conjunto de objectivos a cumprir, das quais convém salientar os seguintes:

- Dimensionamento correcto dos sistemas de climatização para garantir a qualidade e segurança das instalações;
- Estimativa dos consumos energéticos dos edifícios que permita obter uma ordem de grandeza do consumo global em termos de conforto térmico;
- Escolha correcta dos sistemas energéticos do edifício, avaliando a viabilidade económica da adopção de energias renováveis e de tecnologias disponíveis de climatização já referidos (recuperação de calor, arrefecimento gratuito, gestão centralizada), na óptica da sustentabilidade ambiental.

Na fase de utilização normal dos edifícios o regulamento impõe que o consumo do edifício não ultrapasse determinados valores que sejam considerados excessivos, sendo este limite de 80% das necessidades nominais de energia máxima, calculadas com base no RCCTE para aquecimento e arrefecimento.

Para garantir o cumprimento da normativa instituiu-se um sistema de auditorias periódicas, sendo posteriormente emitido um certificado energético para classificação do edifício em questão.

### **6.3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)**

Para responder à crescente exigência ao nível do conforto da habitação houve necessidade de recorrer a equipamentos de climatização nas estações de Inverno e Verão, respectivamente aparelhos de aquecimento e arrefecimento. A utilização destes equipamentos provocou um aumento significativo dos consumos energéticos.

Contudo, para cumprir a Directiva estabelecida pela UE é fundamental reduzir os consumos, sendo necessário limitar esse consumo através da melhoria das características intrínsecas do edifício.

É neste sentido que surge o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), impondo limites às necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento. Outra das obrigatoriedades deste regulamento é a instalação de painéis solares usados para aquecimento das águas sanitárias (AQS), contribuindo para a redução da dependência energética e, ao mesmo tempo, a diminuição da emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Para o cumprimento integral dos requisitos impostos pelo RCCTE, torna-se necessário a aplicação deste regulamento desde a fase de licenciamento. Este regulamento pretende aumentar o nível de exigência e melhorar a metodologia de cálculo para avaliação dos edifícios do ponto de vista energético.

Além das novidades impostas pelo novo regulamento já mencionadas, referem-se ainda outros aspectos também relevantes:

- Maior preocupação com a qualidade do ar interior e com os sistemas de ventilação;
- Inclusão de vários tipos de obstruções no cálculo da radiação solar incidente;
- Limitação dos valores de referência relativos ao consumo de águas quentes sanitárias.

O presente regulamento aplica-se a cada uma das fracções autónomas dos novos edifícios de habitação e aos edifícios reabilitados.

Como foi referido anteriormente, uma das exigências do novo RCCTE é a utilização de sistemas solares para aquecimento de água sanitária, pelo que se torna importante um adequado dimensionamento dos colectores, ou seja, que maximizem a captação de radiação solar. Contudo, se a energia captada for equivalente à dos colectores solares e se for viável, poderá optar-se pelo recurso a outro tipo de sistemas de energia renovável.

## 7. ENERGIAS RENOVÁVEIS

---

### 7.1. ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL: O PRESENTE E O FUTURO

Segundo dados disponibilizados pelo Eurostat [35], Portugal continua a depender em larga escala da importação de combustíveis fósseis para a produção da energia necessária para permitir alimentar os vários sectores de actividade. De acordo com esta fonte, apenas 17% da energia total consumida no nosso país é proveniente de fontes de energia renováveis, tal como mostra o gráfico apresentado. A energia produzida pelas barragens representa cerca de 11%, enquanto que a energia proveniente da biomassa contribui com 3% da energia total consumida. Das energias renováveis, os restantes 3% englobam principalmente a energia eólica, solar e geotérmica. Estas fontes de energia têm assumido um papel importante na produção de energia nos últimos anos, a fim de alcançar as metas estabelecidas pela UE, ainda assim abaixo do que seria desejável para reduzir os consumos de energia proveniente de fontes de energia não renováveis.

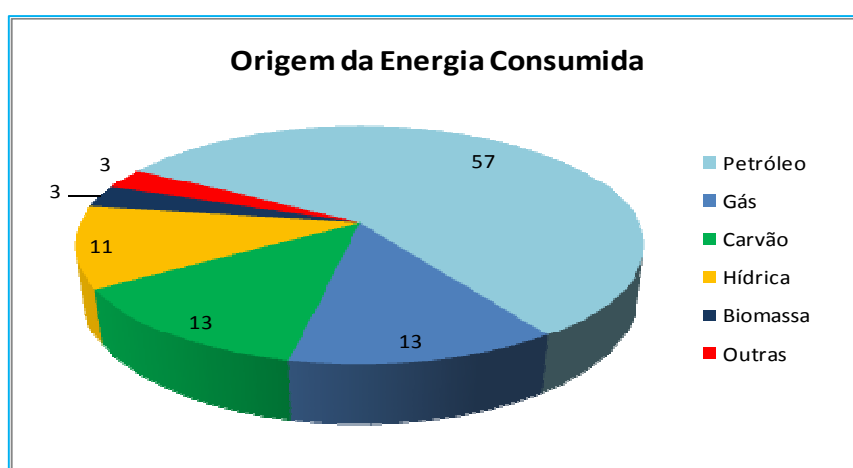


Figura 11 – Distribuição da origem da energia consumida [7]

Portugal tem como objectivo, a alcançar até final de 2010, a produção de 20% da energia total consumida recorrendo a fontes de energias renováveis [18], a fim de cumprir o acordado na Directiva Europeia mencionada no ponto 4 deste capítulo.

## **7.2. TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS APLICÁVEIS EM EDIFÍCIOS**

Alguns sistemas de energias renováveis podem ser aplicados a um edifício com o objectivo de reduzir o consumo energético, ou mesmo de o tornar auto-suficiente, isto é, produzir toda a energia de que necessita.

Serão abordados, portanto, sistemas energéticos cujo objectivo é a produção de energia eléctrica, aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) e a climatização da habitação:

- Energia solar térmica;
- Energia solar fotovoltaica;
- Energia eólica;
- Energia geotérmica;
- Energia aerotérmica;
- Energia proveniente da biomassa.

Embora algumas destas tecnologias apresentem custos substancialmente elevados, optou-se por incluí-las neste estudo e, a partir daí, analisar a viabilidade económica da sua aplicação em edifícios de habitação unifamiliar.

Importante será também dizer que as energias geotérmica e aerotérmica necessitam de energia eléctrica para o seu funcionamento, bem como a energia proveniente da biomassa em que a caldeira é alimentada com recurso a pellets, contudo, trata-se de tecnologias em que o consumo energético é bastante reduzido quando comparado com outros tipos de climatização e aquecimento de água.



### 7.2.1. Energia Solar Térmica

Os colectores solares térmicos são dispositivos utilizados para converter a energia do sol, através da radiação solar, em energia térmica armazenada num fluído, podendo ser água ou ar [14].

Existem vários tipos de colectores solares, sendo os mais usuais nos edifícios:

- **Colector Plano:** trata-se do colector mais comum que é usado principalmente para AQS (Água Quente Sanitária), atingindo uma temperatura máxima de cerca de 60°C. Estes sistemas são constituídos, basicamente, por uma cobertura transparente, uma placa absorsora e uma caixa isolada. É através da placa absorsora que se dá a transformação da energia solar em energia térmica, passando essa energia para um fluído térmico que circula numa rede de canais e que por sua vez aquecem a água contida no depósito de armazenamento.



Figura 12 – Esquema de um colector plano

- **Colectores Concentradores:** estes sistemas apenas captam a radiação directa, ao contrário do sistema descrito anteriormente que capta também a radiação difusa. Contudo, estes colectores conseguem tirar um máximo proveito da energia do sol, fazendo com que o fluído térmico atinja temperaturas elevadas, podendo ser utilizados tanto para o aquecimento de águas quentes sanitárias como para o aquecimento de piscinas. Porém, estes sistemas são mais adequados para climas

secos, atendendo a que apresentam um rendimento relativamente baixo em zonas onde o tempo seja predominantemente nublado.

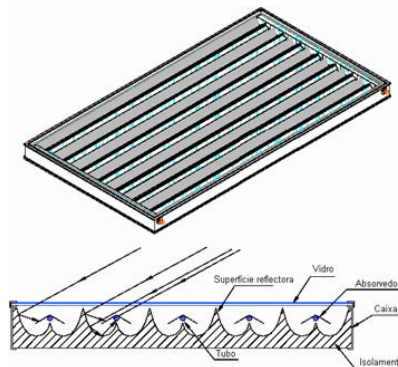


Figura 13 – Esquema de um coletor concentrador

- **Colectores de Tubos de Vácuo:** consistem em tubos de vidro transparente sendo colocados no seu interior tubos metálicos, normalmente de cobre, que constituem o absorvedor onde circula o fluido térmico que transporta a energia para o tanque de armazenamento. O facto dos tubos de vidro estarem em vácuo contribui para a redução significativa das perdas térmicas para o exterior, possibilitando desta forma um maior ganho de energia captada, o que permite que a água atinja temperaturas na ordem dos 100°C.

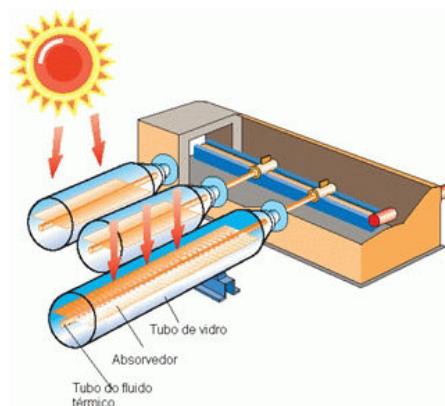


Figura 14 – Esquema de um coletor de tubo de vácuo

Quanto ao modo de funcionamento dos colectores, existem dois tipos de sistemas:

- **Sistemas de circulação natural (termossifão):** A radiação solar ao atingir o painel solar aquece o líquido térmico (normalmente, constituído por água e anticongelante), que sendo menos denso que o restante, sobe até ao tanque de armazenamento e aquece a água contida neste. Ora esse fenómeno provoca o arrefecimento do líquido térmico que volta ao início do ciclo através das forças de convecção, designado por circulação natural ou termossifão. É possível acoplar ao tanque de armazenamento da água um termostato para suprir as necessidades, caso o sistema não tenha capacidade para aquecer a quantidade de água desejada.

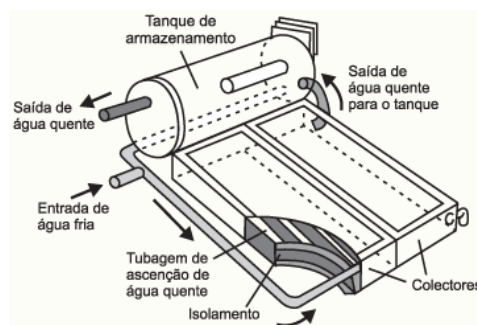


Figura 15 – Representação de um sistema tipo termossifão [26]

- **Sistemas de circulação forçada:** Quando não é possível o recurso ao sistema anteriormente descrito, utiliza-se um sistema de circulação forçada através da instalação de uma bomba de água, ou seja, fazendo com que o líquido térmico percorra o circuito e aqueça a água que se encontra no depósito. Dependendo do sistema instalado, a bomba entra em funcionamento quando se verifica um diferencial de temperatura, cerca 4 ou 5 °C, entre as sondas colocadas no depósito e no colector. Quando as condições climatéricas não permitem o aquecimento da água através dos painéis solares pode ser aplicada uma resistência eléctrica no depósito.

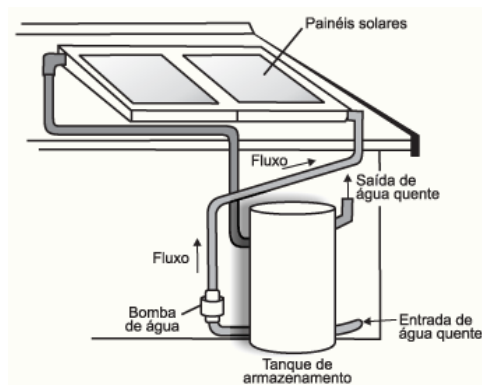


Figura 16 – Representação de um sistema de circulação forçada [26]

Durante a fase de selecção de um sistema de aproveitamento solar é importante ter em atenção os seguintes aspectos: a climatologia local, a orientação e a inclinação dos colectores solares. Só assim será possível retirar o máximo proveito do sistema e tornar a instalação economicamente viável.

Olhando as imagens abaixo (caso de Portugal) constata-se que no Inverno a radiação solar incide com pouca inclinação, sendo desejável que o painel seja mais inclinado para permitir que a radiação incida o mais perpendicular possível. No Verão ocorre a situação inversa, ou seja, como o sol se apresenta mais alto o colector deverá ser menos inclinado. Em termos de orientação solar, esta deverá ser preferencialmente a Sul.

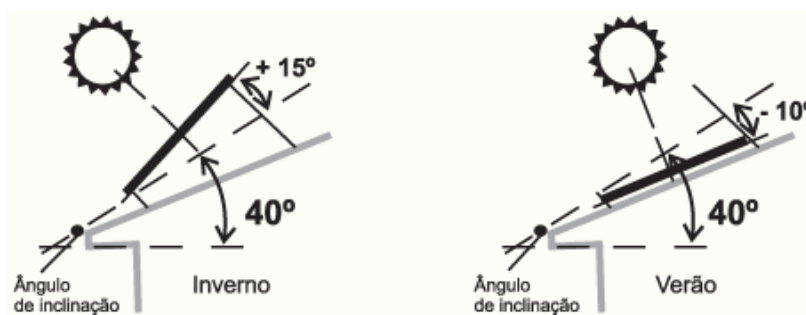


Figura 17 – Inclinação ideal dos painéis consoante as estações do ano [26]

### 7.2.2. Energia Solar Fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é a energia obtida pela conversão directa da radiação solar em electricidade – o efeito fotovoltaico – que não é mais que a criação de uma diferença de

potencial entre os extremos de um material semicondutor desencadeada pela radiação solar. Este fenómeno foi apresentado em 1839 por Edmond Becquerel.

Os painéis fotovoltaicos são constituídos por uma sobreposição de células a que se dá o nome de módulo. Estes sistemas produzem energia de corrente contínua (DC) que terá que ser transformada, através de um conversor, em energia de corrente alternada (AC) a 220 V, para poder ser utilizada no edifício pelos diversos electrodomésticos.

Apesar de ser um sistema ainda em desenvolvimento, existe já uma vasta gama de opções que se podem adoptar no edifício, consoante o tipo de rendimento e estética (por exemplo, em termos de acabamentos e cores disponíveis, caso se opte pela colocação dos painéis na fachada do edifício) que se deseja.

Relativamente ao tipo de material, os painéis fotovoltaicos são constituídos, essencialmente, por silício, que é um material semi-condutor ideal para a produção de energia eléctrica. Independentemente do tipo de células fotovoltaicas utilizadas, os painéis apresentam uma eficiência eléctrica relativamente baixa. Para além disso, a eficiência é afectada pela orientação solar e pela temperatura do ar.

Existem três tipos principais de células fotovoltaicas:

- **Células de silício monocristalino:** trata-se de uma tecnologia com custos bastante elevados e de difícil fabrico, sendo que possui uma estrutura extremamente pura e cristalina. Em termos de rendimento, estas células atingem uma eficiência de cerca de 16%.
- **Células de silício policristalino:** possuem uma estrutura parcialmente cristalina, apresentando algumas impurezas. O processo de fabrico é simples e, como consomem menos energia, apresentam um custo de produção inferior. A sua eficiência é aproximadamente cerca de 13%.
- **Células de silício amorfo:** são compostas por filmes finos que apresentam diversos tipos de cristais na sua constituição. Comparativamente com os outros tipos de

células são as que apresentam um custo mais reduzido, contudo, a eficiência eléctrica é também menor – 8 a 10%.

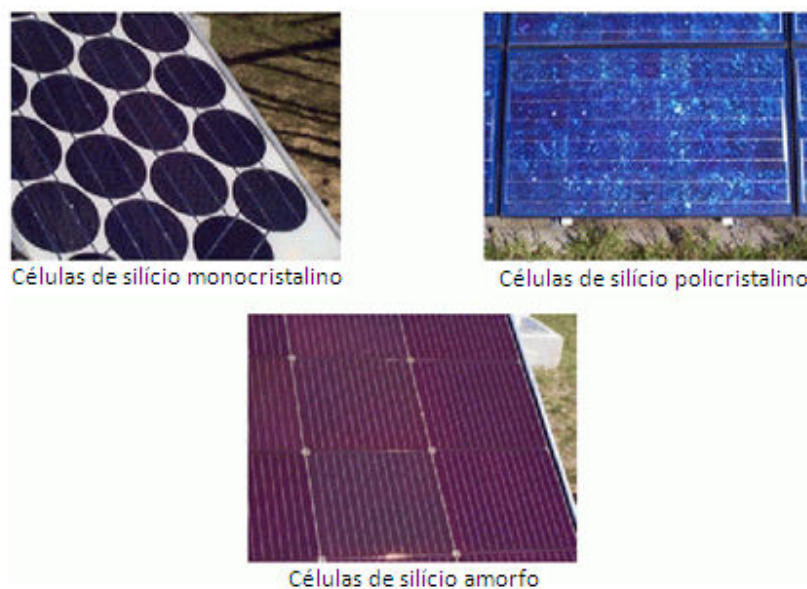


Figura 18 – Tipos de painéis fotovoltaicos

A energia fotovoltaica é uma das mais promissoras fontes de energia renovável, apresentando algumas vantagens, entre as quais se destacam: fabrico ecológico (não polui o ambiente), apresenta uma elevada fiabilidade e uma fácil adaptabilidade dos módulos. Outra das vantagens é que o custo de operação é bastante reduzido, não necessitando de uma manutenção muito rigorosa.

Nem tudo são vantagens e, como tal, também apresenta desvantagens: custo de produção elevado, principalmente devido ao emprego de tecnologias sofisticadas no seu fabrico, o rendimento de conversão de energia solar em energia eléctrica é reduzido, daí que a sua aplicação em edifícios seja ainda reduzida.

Quanto à aplicação dos painéis fotovoltaicos em edifícios, os módulos podem ser integrados na envolvente do edifício (por exemplo, paredes ou coberturas), que podem representar reduções significativas nos custos construtivos e energéticos. É possível armazenar a energia produzida através de um grupo de baterias ou, uma solução economicamente mais

vantajosa, é a ligação do sistema à rede eléctrica, vendendo a energia produzida em excesso à companhia eléctrica.

### **7.2.3. Energia Eólica**

A energia produzida pelo vento é um recurso energético natural que pode ser aproveitado através da instalação de um aerogerador, transformando a energia cinética do ar em energia eléctrica.

O vento representa uma deslocação de uma massa de ar, provocado pelas diferenças de pressão atmosférica causadas pelo aquecimento diferencial terrestre. Este fenómeno é intimamente influenciado pelas condições atmosféricas, por obstáculos e condições do solo. Por exemplo, a direcção e intensidade do vento varia caso se trate de uma zona plana ou montanhosa ou, se a zona se encontra rodeada de edifícios ou outros obstáculos de grande tamanho. A energia cinética do vento é aproveitada utilizando turbinas eólicas ligadas a geradores, fazendo com que o movimento da turbina produza energia eléctrica no gerador. O conjunto constituído pela turbina eólica e pelo gerador é denominado por aerogerador.

Um aerogerador é normalmente constituído pelas pás, o alternador e a cauda direcciona. O alternador transforma a corrente alternada, produzida pelo movimento das pás, em corrente contínua que é armazenada por um conjunto de baterias, podendo também ser ligada directamente à rede. Como o nome indica, a cauda direcciona serve para posicionar a turbina conforme a direcção do vento e garantir que o mesmo incide perpendicularmente ao plano formado pelas pás e daí retirar o maior partido deste sistema.

Existem dois tipos de aerogeradores, consoante o tipo de eixo, podendo ser de eixo horizontal ou eixo vertical. As turbinas de eixo horizontal são as mais comuns, sendo maioritariamente constituídas por três pás. Geralmente as turbinas de eixo vertical apresentam um maior rendimento quando comparada com as de eixo horizontal e a rotação da turbina é independente da direcção do vento, apesar que, quando instaladas no solo, a velocidade do vento é menor, produzindo menos energia do que as turbinas de eixo horizontal que são instaladas em torres com alturas significativas [24].

Num estudo de viabilidade de instalação de um aerogerador, a variável mais importante a ter em conta é a intensidade do vento, devendo este parâmetro ser superior a 7 m/s para que seja economicamente rentável. Contudo, ventos fortes podem ser prejudiciais, havendo o

risco de ocorrência de danos da turbina. Para colmatar este problema, as turbinas são concebidas para uma velocidade limite que, quando ultrapassada, o sistema despende energia para reduzir a rotação das pás, evitando a rotura da turbina.

#### 7.2.4. Energia Geotérmica

Esta energia que tem vindo a ser desenvolvida, mesmo em edifícios de habitação, tem cada vez mais aplicação por se tratar de uma fonte de energia que possibilita o aquecimento de água quente sanitária (AQS) e a climatização da habitação.

Basicamente, este tipo de energia consiste em aproveitar o calor presente no solo e transferi-lo para o interior da habitação por meio de um equipamento denominado por bomba de calor. O princípio da geotermia é captar a energia térmica através de um circuito de condutas enterradas no solo que, depois de passarem por um processo de evaporação, compressão e condensação, aquecem o interior do edifício, podendo utilizar-se em vários tipos de sistemas de aquecimento, tais como, piso radiante, parede radiante, ventiloconvectores, entre outros.

A bomba de calor, atrás referida, é composta pelo evaporador, compressor e condensador que permitem a transmissão da energia entre os circuitos (circuitos de captura e de aquecimento). A água depois de captada é evaporada, transformando-se em vapor de água a baixa pressão. Posteriormente, o vapor de água é comprimido a alta pressão, provocando um aumento de temperatura, seguindo-se a sua condensação e, deste modo, passa a circular no interior da habitação através dos diversos sistemas de aquecimento.

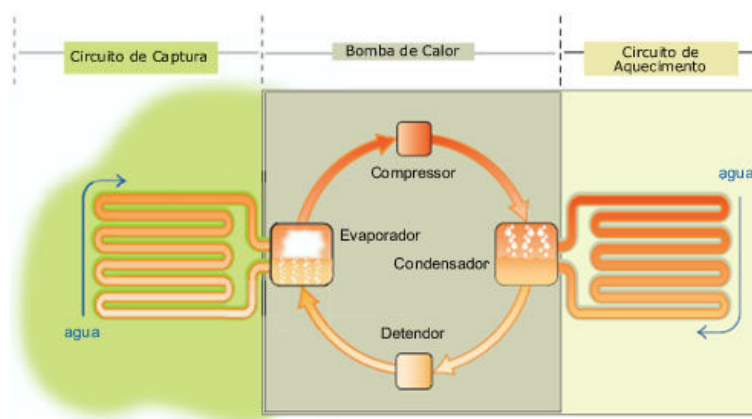


Figura 19 – Esquema de funcionamento de uma bomba de calor [32]



Existem três tipos de captura que se podem adoptar num sistema de energia geotérmica:

- **Captura horizontal:** o circuito de captura é colocado a uma profundidade média de 0.8 metros, em função da qualidade do terreno, constituído por tubagem de polietileno de alta densidade.
- **Captura vertical:** este tipo de captura é o ideal, caso a área de terreno disponível seja reduzida ou as necessidades de energia sejam elevadas para o aquecimento do edifício. O sistema de captura, denominada sonda geotérmica, é instalado num furo vertical que pode ter várias profundidades.
- **Captura freática:** este tipo de captura consiste em aproveitar a energia existente na água de um lençol freático, através da execução de um furo. Neste caso, a própria água do nível freático passa directamente pela bomba de calor e no circuito de aquecimento, ao contrário dos outros tipos de captura.

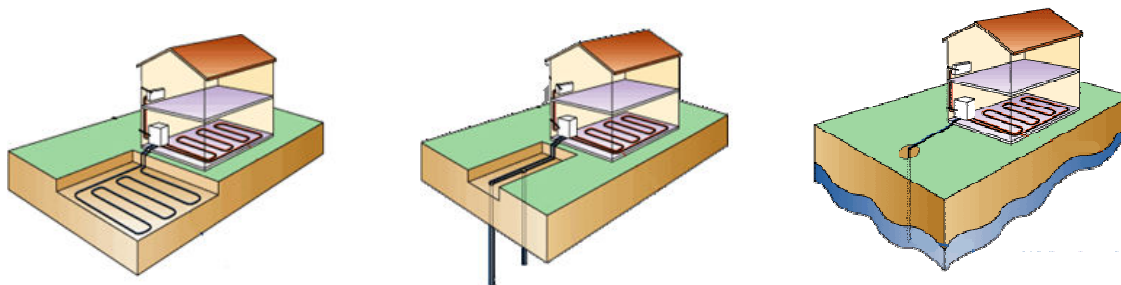


Figura 20 – Diferentes sistemas de captura para aproveitamento da energia geotérmica [32]

De referir que o funcionamento dos diversos sistemas de energia geotérmica anteriormente descritos, necessitam de energia eléctrica para que a bomba de calor produza energia térmica usada na climatização do edifício, o que faz com que estes sistemas não sejam completamente autónomos. Contudo, dependendo do tipo de equipamento que se adopte, em média o sistema geotérmico consome apenas cerca de 20% da energia que seria necessário despendar para a climatização do edifício e produção de água quente sanitária.

Sendo assim, numa primeira análise, será um sistema viável do ponto de vista da economia de energia.

#### 7.2.5. Energia Aerotérmica

A energia aerotérmica baseia-se no mesmo princípio de funcionamento da energia geotérmica só que, em vez de utilizar a energia proveniente do solo, utiliza a energia contida no ar exterior. Trata-se da mais recente forma de aproveitamento dos recursos naturais. Este sistema capta o ar exterior que, após passar por uma bomba de calor, produz energia térmica que pode ser utilizada para a climatização do edifício e mesmo para aquecimento de água para uso doméstico. O processo de conversão de energia pela bomba de calor é similar ao já descrito na energia geotérmica, ou seja, o ar captado no exterior sofre um aumento de pressão, aumentando também a temperatura. Este ar quente vai aquecer a água que circula numa conduta existente na bomba de calor, passando de seguida para o circuito de aquecimento no interior da habitação. É possível utilizar vários sistemas de aquecimento, como por exemplo, os radiadores, o piso radiante ou os ventiloconvectores.

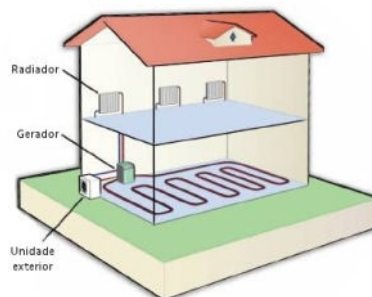


Figura 21 – Funcionamento de um sistema aerotérmico [32]

A instalação do equipamento é relativamente simples, não necessitando de manutenção específica ao longo da sua vida útil, pelo que constitui, à primeira vista, uma boa opção na relação qualidade/preço.

### 7.2.6. Energia da Biomassa

A combustão da biomassa pode ser uma das formas possíveis para obtenção de calor, podendo ser utilizada em habitações, edifícios ou complexos industriais. Entre os vários tipos de biomassa existentes, encontram-se as pellets, estilha ou madeira. As pellets são obtidas através de um processo de fabrico em que podem ser utilizadas diversas matérias vegetais, como por exemplo resíduos provenientes da limpeza florestal.

Existem algumas vantagens na utilização deste tipo de energia renovável, principalmente do ponto de vista ambiental, visto que a utilização da biomassa para fins energéticos é favorável à redução das emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa, uma vez que o dióxido de carbono produzido na combustão da biomassa é posteriormente absorvido no processo da fotossíntese. Além disso, a biomassa contém, em geral, menos poluentes do que os combustíveis fósseis. Contribui também para a redução dos riscos de incêndio das florestas, visto que os seus resíduos poderão ser usados para a produção desta matéria-prima, ainda que a um preço de mercado relativamente baixo [23].

Para a obtenção das pellets, a matéria-prima passa por um processo produtivo que consiste na moagem de todos os resíduos florestais, secagem de modo a que a mistura apresente um teor de humidade ideal e só depois se processa a compactação, obtendo-se como resultado pequenos grânulos de madeira, denominados de pellets, como se pode ver na figura apresentada.

A combustão de pellets pode ser integrada em sistemas de aquecimento em complemento à energia solar, podendo ser utilizada para a climatização do edifício bem como para aquecimento de águas quentes sanitárias.



Figura 22 – Pellets para caldeiras de aquecimento





<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>1.</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>
1.1.	DESCRIÇÃO DOS CASOS PROPOSTOS
1.2.	APLICAÇÃO DO RCCTE
1.3.	APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS
1.4.	ENERGIA NECESSÁRIA PARA ABASTECER O EDIFÍCIO
1.5.	SELECÇÃO DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
1.6.	TIPO DE ARMAZENAMENTO DA ENERGIA
1.7.	ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA





## 1. ESTUDO DE CASO

### 1.1. DESCRIÇÃO DOS CASOS PROPOSTOS

Neste trabalho pretende-se fazer um estudo do comportamento térmico de um edifício e a possibilidade de o tornar independente da rede eléctrica, produzindo assim a energia necessária para o seu bom funcionamento, recorrendo às fontes de energias renováveis descritas anteriormente.

Para melhor se compreender as diferenças existentes nas diversas regiões de Portugal do ponto de vista climático, optou-se por considerar o mesmo edifício em três zonas climáticas diferentes, situadas nas seguintes cidades:

- Bragança;
- Aveiro;
- Beja.

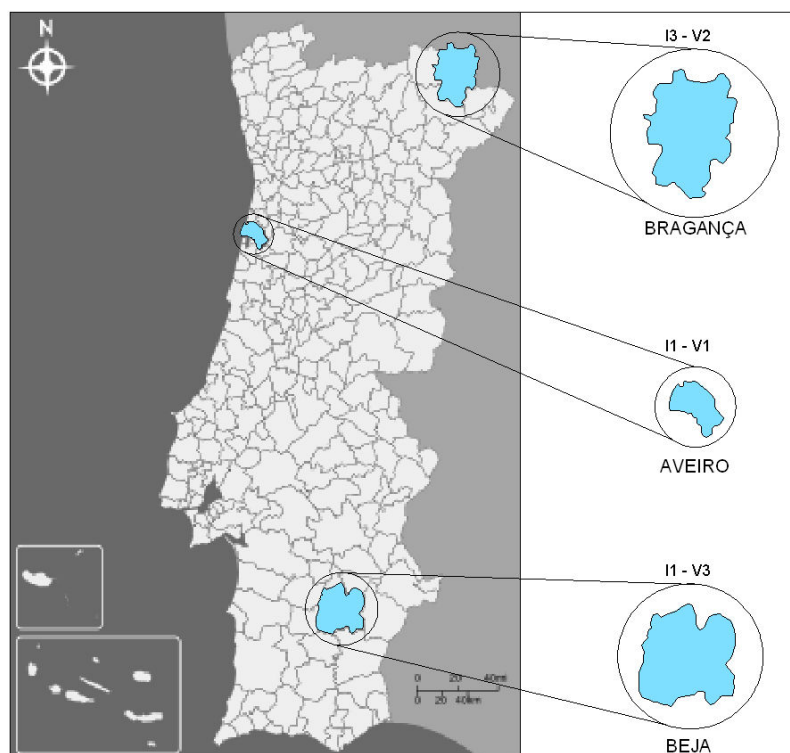


Figura 23 – Zonas climáticas consideradas

Com a análise efectuada num capítulo posterior, irá ser possível comparar o investimento necessário para se obter o mesmo nível de conforto para as três regiões em estudo, em termos de climatização da habitação, tanto no período de Inverno como no Verão.

Em cada região, será analisado o comportamento térmico do edifício em estudo, considerando-se duas hipóteses:

- **Hipótese 1:** usar coeficientes de transmissão térmica próximos dos valores de referência indicados no RCCTE, de modo a cumprir no limite os valores estabelecidos para as necessidades nominais de aquecimento;
- **Hipótese 2:** reduzir as necessidades de aquecimento, através da melhoria das condições de isolamento da envolvente do edifício, aumentando a espessura de isolamento térmico e melhoria das características dos vãos envidraçados.

A instalação de fontes de energia renovável para suprir as necessidades de aquecimento e arrefecimento só faz sentido se a envolvente do edifício for termicamente bem isolada, de modo a reduzir os consumos de energia despendida na climatização da habitação. Por esta razão considerou-se a hipótese 2 anteriormente descrita. Assim, o próximo passo será prever a quantidade total de energia necessária para tornar o edifício independente da rede eléctrica e, dimensionar a rede de energia renovável, utilizando vários tipos de energia renovável descritos no capítulo anterior.

Para cada cenário mencionado será efectuada o estudo da viabilidade económica, a fim de se concluir se as hipóteses propostas são viáveis do ponto de vista financeiro, determinando para as diferentes situações o custo do investimento inicial e o custo anual das diversas soluções, de modo a ser possível calcular ao fim de que período o investimento está amortizado.

O ponto seguinte refere-se à aplicação do RCCTE para as diferentes localizações consideradas relativamente à hipótese 1.



## **1.2. APLICAÇÃO DO RCCTE**

### **1.2.1. Introdução**

Refere-se este capítulo ao estudo do Comportamento Térmico de uma habitação unifamiliar localizada em três regiões distintas: Bragança, Aveiro e Beja.

O estudo respeita o articulado do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE, Decreto-Lei Nº 80/2006 de 4 de Abril e inclui uma descrição das características térmicas dos elementos da envolvente, a quantificação dos diferentes parâmetros térmicos, a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N<sub>ic</sub>) e de arrefecimento (N<sub>vc</sub>), a quantificação das necessidades nominais para produção de água quente sanitária (N<sub>ac</sub>) e ainda o cálculo das necessidades nominais globais de energia primária (N<sub>tc</sub>).

Pretende-se assegurar que as exigências de conforto térmico, sejam elas de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia da qualidade do ar no interior do edifício, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia.

### **1.2.2. Descrição Sumária do Edifício**

O edifício em estudo desenvolve-se em 2 pisos: rés-do-chão e andar. O rés-do-chão inclui garagem, cozinha, sala de jantar, sala de estar, 3 quartos, 3 quartos de banho. No andar encontra-se o escritório.

As plantas, alçados e cortes do edifício são apresentados em anexo a este trabalho.

### **1.2.3. Definição de “Fracção Autónoma” para Efeito do RCCTE**

Para efeitos do RCCTE, entende-se por fracção autónoma cada uma das partes de um edifício dotadas de contador individual de consumo de energia.

As exigências do RCCTE aplicam-se apenas aos espaços para os quais se requerem normalmente condições interiores de conforto, designados como “espaços úteis”. Os espaços aos quais não se aplicam estas condições consideram-se espaços “não úteis” e não podem ser incluídos no cálculo dos valores de N<sub>ic</sub>, N<sub>vc</sub> e N<sub>tc</sub>.

Na aplicação do RCCTE ao edifício em estudo considerou-se que, dos compartimentos interiores, apenas a garagem corresponde a espaço “não útil”.

#### **1.2.4. Dados Climáticos**

##### **1.2.4.1. Zonas Climáticas**

Para efeitos do RCCTE, o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3). A cidade de Bragança, situa-se na zona climática de Verão V2 e na zona climática de Inverno I3, enquanto que Aveiro pertence à zona climática de Verão V1 e à zona climática de Inverno I1. Por sua vez a região de Beja insere-se nas zonas climáticas I1 e V3, respectivamente no Inverno e no Verão.

##### **1.2.4.2. Graus-Dias de Aquecimento**

Os graus-dias de aquecimento (base 20°C) caracterizam a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. Este valor é obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

Para o edifício em estudo, o número de graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento é igual a 2850 °C.dias no caso do edifício se situar em Bragança, 1390 °C.dias para a região de Aveiro e, na cidade de Beja apresenta um valor de 1290 °C.dias (Quadro III.1 do RCCTE).

##### **1.2.4.3. Duração da Estação de Aquecimento**

A estação convencional de aquecimento é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

A duração da estação de aquecimento para a fracção em estudo é igual a 8,0 meses em Bragança, 6,0 meses em Aveiro e 5,7 meses em Beja (Quadro III.1 do RCCTE).

#### 1.2.4.4. Energia Solar Incidente na Estação de Aquecimento

A energia solar incidente na estação de aquecimento é a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul (G<sub>sol</sub>), dependendo da zona climática de Inverno em que o edifício se encontra. Neste estudo, a região de Bragança pertence à zona climática I3, pelo que o valor de G<sub>sol</sub> corresponde a 90 kWh/m<sup>2</sup>.mês. No caso do edifício se situar em Aveiro ou em Beja, esta variável toma o valor de 108 kWh/m<sup>2</sup>.mês (Quadro III.8 do RCCTE).

#### 1.2.4.5. Intensidade da Radiação Solar para a Estação de Arrefecimento

Através da consulta do Quadro III.9 do RCCTE facilmente se constata que a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento varia em função da zona climática em que o edifício está inserido. Neste caso concreto as três regiões consideradas pertencem a zonas climáticas de Verão distintas conforme se referiu num ponto anterior, situando-se a Norte (Bragança e Aveiro) ou a Sul (Beja) de Portugal Continental, pelo que os valores de I<sub>r</sub> são os apresentados na seguinte tabela.

Tabela 1 – Intensidade de radiação solar

Zona climática	Intensidade da radiação solar – I <sub>r</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
V1 – Norte	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V2 – Norte	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V3 – Sul	210	330	460	460	400	470	460	330	820

#### 1.2.4.6. Temperatura Média Mensal do Ar para a Estação de Arrefecimento

A temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 19 °C, no caso da fracção em estudo se localizar na zona climática V1 ou V2 – Norte (Bragança e Aveiro respectivamente), ou 23 °C caso se situe em Beja (Quadro III.9 do RCCTE).

### 1.2.5. Requisitos Energéticos – Exigências Regulamentares

#### 1.2.5.1. Aspectos Gerais

Para que um edifício cumpra o RCCTE, é necessário que as suas necessidades nominais anuais de energia ( $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$  e  $N_{tc}$ ) não excedam os valores máximos admissíveis, que se designam respectivamente por  $N_i$ ,  $N_v$ ,  $N_a$  e  $N_t$ .

#### 1.2.5.2. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento - $N_i$

Segundo o RCCTE, a fracção autónoma em estudo não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ). Este valor depende do factor de forma (FF) da fracção autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local.

O factor de forma é quantificado através do quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e da envolvente interior ( $A_{int}$ ) multiplicado pelo respectivo valor de  $\tau$ , da fracção autónoma com exigências térmicas, e o volume interior ( $V$ ):

$$FF = \frac{(\sum A_{ext} + \sum A_{int} \times \tau)}{V} \quad [m^{-1}]$$
$$FF = 1,45 \, m^{-1}$$

Para o caso em estudo, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ) são calculadas pela seguinte expressão (artigo 15º do RCCTE):

$$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD] \times (1,2 - 0,2 \times FF) \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)]$$

em que:

GD Graus-dias de aquecimento [ $^{\circ}C \cdot dias$ ]

FF Factor de Forma [ $m^{-1}$ ]

Conforme se pode verificar através da análise da fórmula anterior, o valor das necessidades anuais de energia útil para aquecimento variam de acordo com o valor dos graus dia para a

zona climática em estudo, pelo que para as três regiões aqui consideradas os valores calculados são os seguintes:

Bragança:  $N_i = 197,90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$  ;

Aveiro:  $N_i = 98,62 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$  ;

Beja:  $N_i = 91,82 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ .

#### 1.2.5.3. Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento - $N_v$

A fracção autónoma não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) de uma fracção autónoma depende apenas da sua zona climática (artigo 15º do RCCTE):

Zona V1 (Norte)  $\Rightarrow N_v = 16 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$

Zona V2 (Norte)  $\Rightarrow N_v = 18 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$

Zona V3 (Sul)  $\Rightarrow N_v = 32 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$

#### 1.2.5.4. Limitação das Necessidades de Energia para Preparação das AQS - $N_a$

Segundo o RCCTE, a fracção autónoma não pode, como resultado dos tipos e eficiências dos equipamentos de produção de água quente sanitária, bem como da utilização de formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias ( $N_a$ ).

O limite máximo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias ( $N_a$ ) da fracção autónoma é o seguinte (artigo 15º do RCCTE):

$$N_a = \frac{0,081 \times M_{AQS} \times n_d}{A_p} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

$$N_a = 21,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

em que:

$M_{AQS}$  Consumo médio diário de referência [l]

$n_d$  Número anual de dias de consumo de AQS [dias]  
 $A_p$  Área útil de pavimento [ $m^2$ ]

#### 1.2.5.5. Limitação das Necessidades Nominais Globais de Energia Primária - $N_t$

As necessidades nominais anuais globais ( $N_{tc}$ ) da fracção autónoma em estudo não podem exceder um valor máximo admissível de energia primária ( $N_t$ ), calculado com base nos valores de  $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_a$  (artigo 15º do RCCTE):

$$N_t = 0,9 \times (0,01 \times N_i + 0,01 \times N_v + 0,15 \times N_a) \quad [\text{kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

Assim, para as diversas regiões consideradas neste estudo, os valores das necessidades nominais globais são os seguintes:

Bragança:  $N_t = 4,78 \text{ kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;

Aveiro:  $N_t = 3,86 \text{ kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ;

Beja:  $N_t = 3,95 \text{ kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ .

### 1.2.6. Quantificação dos Parâmetros Térmicos

#### 1.2.6.1. Coeficientes de Transmissão Térmica - $U$

O coeficiente de transmissão térmica superficial, em zona corrente, de um elemento da envolvente ( $U$ ), é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

O RCCTE preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes  $U$  da envolvente dos edifícios, em função da zona climática em que se situam. Os valores máximos e de referência para a fracção autónoma em estudo são apresentados na seguinte tabela.

Tabela 2 – Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente

Elementos da envolvente em zona corrente		Coeficientes de transmissão térmica $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$			
		Máximo ( $U_{max}$ )		Referência ( $U_{ref}$ )	
		$I_1$	$I_3$	$I_1$	$I_3$
Elementos exteriores	Opacas Verticais	1.80	1.45	0.70	0.50
	Opacas Horizontais	1.25	0.90	0.50	0.40
Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis	Opacas Verticais	2.00	1.90	1.40	1.00
	Opacas Horizontais	1.65	1.20	1.00	0.80
Envidraçados		-	-	4.30	3.30

Os coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) dos diversos elementos constituintes do edifício em estudo foram determinados com base nas características dos vários materiais utilizados na sua construção. Os pormenores construtivos dos elementos aqui apresentados são apresentados em anexo a este documento.

Neste projecto existe apenas um tipo de cobertura, sendo a cobertura plana (UC1) utilizada no rés-do-chão e no andar do edifício.

$U_{C1}$  Cobertura plana (Rés-do-chão e Andar)

- 
- Revestimento exterior em godo:  $e = 0,06$  m
  - Isolamento térmico – Poliestireno extrudido:  $e = 0,08$  m (Bragança);  $e = 0,06$  m (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040$   $W/(m \cdot ^\circ C)$
  - Geotêxtil
  - Camada de impermeabilização
  - Camada de forma:  $e_{med} = 0,070$  m;  $\lambda = 0,7$   $W/(m \cdot ^\circ C)$
  - Laje de Betão Armado:  $e = 0,250$  m;  $R = 0,21$   $m^2 \cdot ^\circ C/W$

- Reboco interior corrente:  $e = 0,020 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,30 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$

$$R_{ci} = 0,04 + \frac{e}{0,040} + \frac{0,070}{0,70} + 0,21 + \frac{0,020}{1,30} + 0,10$$

Bragança:  $UC1 = 0,41 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Aveiro:  $UC1 = 0,51 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Beja:  $UC1 = 0,51 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Relativamente às paredes, neste estudo consideram-se dois elementos verticais distintos, consoante se trata de elementos exteriores ou interiores. Assim, o  $UPr1$  representa o coeficiente de transmissão térmica da parede envolvente da habitação e, o  $UPr2$  diz respeito à parede interior de separação da fracção autónoma com a garagem.

$U_{Pr1}$  Parede envolvente da habitação

---

- Acabamento exterior - sistema ETICS
- Isolamento térmico – poliestireno expandido:  $e = 0,05 \text{ m}$  (Bragança);  $e = 0,03 \text{ m}$  (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ;
- Parede interior de alvenaria de tijolo vazado:  $e = 0,220 \text{ m}$ ;  $R = 0,52 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$
- Reboco interior corrente:  $e = 0,020 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,30 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$

$$R_{Pr1} = 0,04 + \frac{e}{0,040} + 0,52 + \frac{0,020}{1,30} + 0,13$$

Bragança:  $UPr1 = 0,51 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Aveiro:  $UPr1 = 0,69 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Beja:  $UPr1 = 0,69 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$



#### $U_{Pr2}$ Parede de separação com garagem

---

- Reboco interior corrente:  $e = 0,020$  m;  $\lambda = 1,30$  W/(m·°C)
- Parede interior de alvenaria de tijolo:  $e = 0,11$  m;  $R = 0,19$  m<sup>2</sup>·°C/W
- Isolamento térmico – poliestireno extrudido:  $e = 0,02$  m (Bragança);  $\lambda = 0,040$  W/(m·°C)
- Parede interior de alvenaria de tijolo:  $e = 0,11$  m;  $R = 0,19$  m<sup>2</sup>·°C/W
- Reboco interior corrente:  $e = 0,020$  m;  $\lambda = 1,30$  W/(m·°C)

$$R_{Pr3} = 0,13 + \frac{0,02}{1,30} + 0,19 + \frac{e}{0,040} + 0,19 + \frac{0,02}{1,30} + 0,13$$

Bragança:  $UPr2 = 0,85$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

Aveiro:  $UPr2 = 1,49$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

Beja:  $UPr2 = 1,49$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

Finalmente, no que diz respeito aos pavimentos, optou-se por considerar um pavimento sobre a garagem (UPv1) e um pavimento sobre o exterior (UPv2), apresentando características diferentes consoante a sua função.

#### $U_{Pv1}$ Pavimento sobre a garagem

---

- Revestimento interior – soalho:  $e = 0,020$  m
- Isolamento térmico – poliestireno extrudido:  $e = 0,03$  m (Bragança);  $e = 0,02$  m (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040$  W/(m·°C)
- Camada de regularização:  $e_{med} = 0,100$  m;  $\lambda = 0,7$  W/(m·°C)

- Laje de Betão Armado:  $e = 0,250 \text{ m}$ ;  $R = 0,21 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$
- Reboco exterior corrente:  $e = 0,020 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$

$$R_{Pv1} = 0,17 + \frac{e}{0,040} + \frac{0,100}{0,70} + 0,21 + \frac{0,020}{1,30} + 0,17$$

Bragança:  $UPv1 = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

Aveiro:  $UPv1 = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

Beja:  $UPv1 = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

$U_{Pv2}$  Pavimento sobre exterior

---

- Revestimento interior – soalho:  $e = 0,020 \text{ m}$
- Isolamento térmico – poliestireno extrudido:  $e = 0,06 \text{ m}$  (Bragança);  $e = 0,04 \text{ m}$  (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$
- Camada de regularização:  $e_{med} = 0,100 \text{ m}$ ;  $\lambda = 0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$
- Laje de Betão Armado:  $e = 0,250 \text{ m}$ ;  $R = 0,21 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$

$$R_{Pv2} = 0,13 + \frac{e}{0,040} + \frac{0,100}{0,70} + 0,21 + 0,04$$

Bragança:  $UPv2 = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

Aveiro:  $UPv2 = 0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

Beja:  $UPv2 = 0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

As portas serão de madeira (5 cm de espessura) e possuem um coeficiente de transmissão térmica  $U = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ .

Todos os vãos envidraçados da envolvente do edifício serão constituídos por vidro duplo e caixilharia de alumínio com um coeficiente de transmissão térmica de  $U = 3,40 \text{ W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ .

### 1.2.6.2. Pontes Térmicas Planas

Uma ponte térmica plana é uma heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares e talões de viga.

Segundo o RCCTE, as zonas de pontes térmicas planas não podem ter um valor de “U” superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre os valores máximos indicados na tabela referente aos coeficientes de transmissão térmica máximos.

#### $U_{PTP-A}$ Ponte Térmica Plana A (Pilar de betão)

---

- Acabamento exterior - sistema ETICS
- Isolamento térmico – poliestireno expandido:  $e = 0,05$  m (Bragança);  $e = 0,03$  m (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040$  W/(m·°C);
- Pilar de betão:  $e = 0,200$  m;  $\lambda = 2,00$  W/(m·°C)
- Reboco interior corrente:  $e = 0,020$  m;  $\lambda = 1,30$  W/(m·°C)

$$R_{PTP-A} = 0,04 + \frac{e}{0,040} + \frac{0,200}{2,00} + \frac{0,020}{1,30} + 0,13$$

Bragança:  $U_{PTP-A} = 0,65$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

Aveiro:  $U_{PTP-A} = 0,97$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

Beja:  $U_{PTP-A} = 0,97$  W/(m<sup>2</sup>·°C)

#### $U_{PTP-B}$ Ponte Térmica Plana B (Talão de viga)

---

- Acabamento exterior - sistema ETICS
- Isolamento térmico – poliestireno expandido:  $e = 0,05$  m (Bragança);  $e = 0,03$  m (Aveiro e Beja);  $\lambda = 0,040$  W/(m·°C);
- Betão:  $e = 0,200$  m;  $\lambda = 2,00$  W/(m·°C)

- Reboco interior corrente:  $e = 0,020 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,30 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$

$$R_{\text{PTP-C}} = 0,04 + \frac{e}{0,040} + \frac{0,200}{2,00} + \frac{0,020}{1,30} + 0,13$$

Bragança: UPTP-B =  $0,65 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Aveiro: UPTP-B =  $0,97 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Beja: UPTP-B =  $0,97 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

Desta forma, verifica-se que não existe nenhuma incompatibilidade das pontes térmicas planas presentes neste estudo.

#### 1.2.6.3. Coeficientes de Transmissão Térmica Linear - $\psi$

A tabela que se apresenta de seguida indica os valores de  $\psi$  das pontes térmicas lineares.

Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica linear

	Ligação	Tabela	“ $\psi$ ”
$\Psi_1$	Fachada com pavimentos	Be	0,45
$\Psi_2$	Fachada com pavimentos intermédios	Ce	0,10
$\Psi_3$	Fachada com cobertura inclinada ou terraço	De	0,55
$\Psi_4$	Duas paredes verticais	Fe	0,15

#### 1.2.6.4. Coeficiente $\tau$

De acordo com o RCCTE, as trocas de calor ocorrem entre o ambiente interior e o ambiente exterior dos edifícios, mas também entre o interior e os espaços não úteis.

As perdas térmicas através dos elementos da envolvente interior são afectadas do correspondente coeficiente  $\tau$ , indicado na tabela IV.1 do RCCTE. Este coeficiente tem em consideração dois factores: a relação  $A_i/A_u$  entre as áreas do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não-útil ( $A_i$ ) e do elemento que separa o espaço não-útil do ambiente exterior ( $A_u$ ) e o grau de renovação de ar do local não útil (espaço não aquecido).

Tabela 4 – Coeficiente  $\tau$ 

Tipo de espaço não útil	$A_i/A_u$	$\tau$
Parede garagem	0.57	0,8
Pavimento garagem	0.78	0,8

#### 1.2.6.5. Factor Solar

##### 1.2.6.5.1. Estação de Aquecimento

O factor solar dos vãos envidraçados corresponde à relação entre a energia solar transmitida para o interior através dos vãos envidraçados em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado. O factor solar dos vãos envidraçados nesta estação será de 0,55 (vidro duplo com tela “solscreen” interior).

##### 1.2.6.5.2. Estação de Arrefecimento

O factor solar de um vão envidraçado no Verão é o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado, com o respectivo dispositivo de protecção activo a 70%, e a energia da radiação solar que nele incide. Neste estudo, consideram-se que todos os envidraçados apresentam um estore veneziano com lâminas metálicas e uma tela interior, cujo valor da protecção solar dos envidraçados para a estação de arrefecimento é de 0.22.

#### 1.2.6.6. Inércia Térmica

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção. A massa superficial útil ( $M_{si}$ ) de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.

Tabela 5 – Características do edifício para cálculo da inércia térmica

Elemento de construção	$M_{si}$	$S_i$	Factor de correcção	$M_{si} * r * S_i$
	(kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(r)	(kg)
Cobertura plana	150	227.8	1,00	34170
Parede envolvente da habitação	150	327.2	1,00	49080
Parede de separação com garagem	176	20.04	1,00	3527
Parede interior (tijolo 11 cm)	176	62,5	1,00	11000
Pavimento sobre garagem	300	27.23	1,00	8169
Pavimento exterior	226	194.9	1,00	40047
Total				145993
Área útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )				225
Inércia térmica - $I_t$ (kg/m <sup>2</sup> )				<b>649</b>

A fracção autónoma em estudo apresenta uma inércia térmica forte ( $I_t \geq 400$  kg/m<sup>2</sup>).

### 1.2.7. Ganhos Solares

#### 1.2.7.1. Estação de Aquecimento

Na concepção dos edifícios deve procurar-se que as fachadas principais estejam voltadas a Sul (quadrante Sul), de forma a haver ganhos solares significativos no período de Inverno. Na estação de aquecimento, os ganhos solares são calculados pela equação seguinte (anexo IV do RCCTE):

$$Q_s = G_{Sul} \sum_j \left[ X_j \cdot \sum_n (A \times F_h \times F_o \times F_f \times F_g \times F_w \times g_{\perp}) \right] \cdot M \quad [\text{kWh/ano}]$$

$$Q_s = 7629.80 \text{ kWh/ano}$$

em que:

$G_{Sul}$  valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul de área unitária durante a estação de aquecimento (Quadro III.1 do RCCTE) [kWh/(m<sup>2</sup>·mês)]

$X_j$	factor de orientação para as diferentes exposições (Quadro IV.4 do RCCTE)
$F_h$	factor de sombreamento do horizonte provocado num vão envidraçado por obstruções longínquas exteriores ao edifício (Tabela IV.5 do RCCTE)
$F_o$	factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado (palas, varandas) (Tabela IV.6 do RCCTE)
$F_f$	factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado como palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício (Tabela IV.7 do RCCTE)
$F_g$	fracção envidraçada - traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia (Quadro IV.5 do RCCTE)
$F_w$	factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados - traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. Na estação de aquecimento, o factor $F_w$ toma o valor de 0,9
$g_{\perp}$	factor solar do vão envidraçado - traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado (Tabela IV.4 do RCCTE)
$M$	Duração da estação de aquecimento (Quadro III.1 do RCCTE) [meses]

Os valores das propriedades dos envidraçados, factores solares e obstruções para a estação de aquecimento, bem como os ganhos solares na estação de aquecimento podem ser consultados nas folhas de cálculo apresentadas em anexo a este estudo.

#### 1.2.7.2. Estação de Arrefecimento

Para o cálculo dos ganhos solares através dos envidraçados na estação de arrefecimento adoptar-se-á a mesma metodologia definida no capítulo anterior para a estação de aquecimento. Porém, os factores solares dos envidraçados devem ser tomados com os dispositivos de sombreamento móveis activados a 70%.

Na estação de arrefecimento, os ganhos solares são calculados pela equação seguinte (anexo IV do RCCTE):

$$Q_s = \sum_j \left[ I_{r_j} \times \sum_n (A_{snj} \times F_o \times F_f \times F_g \times F_w \times g_{\perp}) \right] + \sum_j \left[ \frac{I_{r_j} \times U_j \times A_j \times \alpha_j}{h_e} \right] \quad [\text{kWh/ano}]$$

$$Q_s = 1955.6 \text{ kWh/ano}$$

em que:

- $I_{r_j}$  energia solar incidente por orientação  $j$  (Quadro III.9 do RCCTE) [kWh/m<sup>2</sup>]
- $A_{snj}$  área efectiva do vão  $n$  que tem orientação  $j$  [m<sup>2</sup>]
- $\alpha_j$  coeficiente de absorção solar do elemento da envolvente  $j$
- $F_o$  factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado (Quadro V.1 do RCCTE)
- $F_f$  factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado como palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício (Quadro V.2 do RCCTE)
- $F_g$  fracção envidraçada - traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia (Quadro IV.5 do RCCTE)
- $F_w$  factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados - traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa (Quadro V.3 do RCCTE)
- $g_{\perp}$  factor solar do vão envidraçado - traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado (Quadro V.4 do RCCTE)

Os valores das propriedades dos envidraçados, factores solares e obstruções para a estação de arrefecimento, bem como os ganhos solares na estação de arrefecimento podem ser consultados nas folhas de cálculo apresentadas em anexo a este estudo.

### 1.2.9. Quantificação dos Requisitos Energéticos

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N<sub>ic</sub>), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N<sub>vc</sub>), das necessidades nominais anuais de energia para produção



de águas quentes sanitárias (Nac), bem como das necessidades globais de energia primária (Ntc). A tabela apresenta os índices térmicos fundamentais a quantificar.

Tabela 6 – Quantificação dos requisitos energéticos

	<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nac</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ntc</b> kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)
Bragança	193.12	3,29	12,78	3,04
Aveiro	91.94	2.85	12,78	2,57
Beja	84.37	15.27	12,78	2,08

#### 1.2.12. Verificação do RCCTE

De acordo com os artigos 5.º, 6.º, 7.º e 8.º a verificação do RCCTE pressupõe:

$$\mathbf{N_{ic} \leq N_i \text{ [kWh/(m}^2\text{·ano)]}}$$

$$\mathbf{N_{vc} \leq N_v \text{ [kWh/(m}^2\text{·ano)]}}$$

$$\mathbf{N_{ac} \leq N_a \text{ [kWh/(m}^2\text{·ano)]}}$$

$$\mathbf{N_{tc} \leq N_t \text{ [kgep/(m}^2\text{·ano)]}}$$

Assim, os valores calculados, para a fracção autónoma em estudo, demonstram que o RCCTE foi satisfeito, dado que estes são inferiores aos valores de referência, como se mostra nas tabelas apresentadas de seguida.

Tabela 7 – Verificação do RCCTE – Bragança

<b>Nic</b> KWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ni</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nic/Ni</b> [%]	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nv</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc/Nv</b> [%]	<b>Nac</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Na</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nac/Na</b> [%]
193,12	197,9	96	3,29	18	18	12,78	21.00	61

<b>Ntc</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Nt</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Ntc / Nt</b> [%]
3,04	4,78	54

Tabela 8 – Verificação do RCCTE – Aveiro

<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ni</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nic/Ni</b> [%]	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nv</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc/Nv</b> [%]	<b>Nac</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Na</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nac/Na</b> [%]
91,94	98,62	93	2,85	16,0	18	12,78	21.00	61

<b>Ntc</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Nt</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Ntc / Nt</b> [%]
2,57	3,86	67

Tabela 9 – Verificação do RCCTE – Beja

<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ni</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nic/Ni</b> [%]	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nv</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc/Nv</b> [%]	<b>Nac</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Na</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nac/Na</b> [%]
84,37	91,82	92	15,27	32	48	12,78	21.00	61

<b>Ntc</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Nt</b> [kgep/(m <sup>2</sup> ·ano)]	<b>Ntc / Nt</b> [%]
2,08	3,95	53

### 1.3. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste ponto serão apresentados os resultados da aplicação do RCCTE aos vários casos propostos. Numa primeira fase serão abordados os resultados relativos à hipótese 1, ou seja, para o caso em que se optou por utilizar coeficientes de transmissão térmica próximos dos valores de referência indicados no RCCTE, cumprindo os limites impostos no regulamento. Seguidamente, serão apresentados os resultados da aplicação do RCCTE à hipótese 2, considerando que a envolvente do edifício em estudo se encontra mais isolada termicamente, através do aumento das espessuras de isolamento e à melhoria das características dos envidraçados, diminuindo deste modo os valores dos coeficientes de transmissão térmica, fazendo com que as necessidades de aquecimento diminuam, contribuindo desta forma para uma redução significativa da energia gasta para climatização do edifício.

Como referido anteriormente, para a hipótese 1, considerou-se as espessuras de isolamento térmico de modo a que os valores dos coeficientes de transmissão térmica sejam próximos dos valores de referência apresentados no RCCTE, tendo o cuidado para que sejam sempre cumpridos os valores limites das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento, respectivamente para as estações de Inverno e Verão. Assim, para os diversos elementos construtivos indicados na memória descritiva anteriormente apresentada, as espessuras de isolamento térmico para as várias zonas climáticas adoptadas são as seguintes.

Tabela 10 – Espessura de referência de isolamento térmico da envolvente – hipótese 1

	<b>Bragança</b>	<b>Aveiro</b>	<b>Beja</b>
<b>Cobertura plana (Uc1)</b>	8	6	6
<b>Parede envolvente da habitação (Upr1)</b>	5	3	3
<b>Parede de separação com a garagem (Upr2)</b>	2	0	0
<b>Pavimento sobre a garagem (Upv1)</b>	3	2	2
<b>Pavimento sobre o exterior (Upv2)</b>	6	4	4

Relativamente aos vãos envidraçados, admitiu-se neste caso concreto que estes apresentavam um coeficiente de transmissão térmica igual a  $3.4 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , visto se tratar de um envidraçado com vidro duplo normal.

Pela análise da tabela anterior, reconhece-se que para um dado projecto de uma habitação existem necessidades distintas em relação à espessura de isolamento térmico a aplicar na envolvente do edifício, consoante a sua localização geográfica. Constata-se que em Aveiro e em Beja o isolamento apresenta a mesma espessura em todos os elementos construtivos, contudo, em Bragança é necessário aumentar a espessura de isolamento de modo a cumprir os limites estabelecidos pelo regulamento em vigor. Importa referir que, apesar desta alteração, o edifício em Bragança apresenta aproximadamente o dobro das necessidades nominais de aquecimento comparativamente às zonas de Aveiro ou Beja, como se indica na tabela.

Neste âmbito, é relevante calcular os valores das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento, para que seja possível comparar com os valores máximos admissíveis

constantes no regulamento, de modo a que este seja cumprido. Estes valores são os apresentados na tabela a seguir indicada para as diversas zonas climáticas.

Tabela 11 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento e valores máximos – hipótese 1

	<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ni</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nic/Ni</b> [%]	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nv</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc/Nv</b> [%]
<b>Bragança</b>	193.12	197.90	97.58	3.29	18.00	18.28
<b>Aveiro</b>	91.94	98.62	93.23	2.85	16.00	17.81
<b>Beja</b>	84.37	91.82	91.89	15.27	32.00	47.72

Através da análise da tabela anterior, facilmente se constata que o RCCTE foi cumprido no limite, visto que os valores das necessidades nominais de aquecimento são relativamente próximos dos valores limite, pelo que não foi possível diminuir mais a espessura do isolamento utilizado. De referir que no caso do edifício se localizar na região de Beja, notou-se que os valores dos ganhos solares tanto pela envolvente opaca como pelos vãos envidraçados eram elevados, daí se justifica um elevado valor para a necessidade nominal de arrefecimento.

Finalmente, para a hipótese 2 considerou-se um aumento significativo das espessuras de isolamento térmico, com o intuito de reduzir substancialmente as necessidades nominais de aquecimento, diminuindo assim, o valor gasto em energia para climatização do edifício. Desta forma, admitiu-se as espessuras de isolamento constantes na tabela a seguir indicada, conforme a zona climática em que o edifício se insere.

Tabela 12 – Espessura de isolamento térmico da envolvente – hipótese 2

	<b>Bragança</b>	<b>Aveiro</b>	<b>Beja</b>
<b>Cobertura plana (Uc1)</b>	10	8	8
<b>Parede envolvente da habitação (Upr1)</b>	8	6	6
<b>Parede de separação com a garagem (Upr2)</b>	4	2	2
<b>Pavimento sobre a garagem (Upv1)</b>	5	4	4
<b>Pavimento sobre o exterior (Upv2)</b>	8	6	6

Comparando as tabelas relativas à espessura do isolamento térmico para ambas as hipóteses, depreende-se que, independentemente do elemento construtivo ou da zona climática, o isolamento teve um aumento de espessura de cerca de dois ou três centímetros, o que revela uma enorme preocupação na poupança de energia que deverá ser tida em conta na fase de projecto por todos os intervenientes.

Com o intuito de melhor se perceber o acréscimo de isolamento térmico para que, numa fase posterior, se estude a viabilidade económica da solução proposta, determinou-se o volume de isolamento a colocar a mais em cada elemento construtivo e para cada região, como se indica na tabela a seguir apresentada.

Tabela 13 – Diferenças de isolamento térmico entre hipóteses 1 e 2

	Área (m <sup>2</sup> )	Bragança			Aveiro			Beja		
		Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )	Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )	Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )
<b>Uc1</b>	227.80	8	10	<b>4.56</b>	6	8	<b>4.56</b>	6	8	<b>4.56</b>
<b>Upr1</b>	327.20	5	8	<b>9.82</b>	3	6	<b>9.82</b>	3	6	<b>9.82</b>
<b>Upr2</b>	20.04	2	4	<b>0.40</b>	0	2	<b>0.40</b>	0	2	<b>0.40</b>
<b>Upv1</b>	27.23	3	5	<b>0.54</b>	2	4	<b>0.54</b>	2	4	<b>0.54</b>
<b>Upv2</b>	194.90	6	8	<b>3.90</b>	4	6	<b>3.90</b>	4	6	<b>3.90</b>

Em termos de material isolante conclui-se que para as três regiões em estudo neste trabalho existe um acréscimo de cerca de 19 m<sup>3</sup> em relação à hipótese 1 já mencionada.

Em relação aos vãos envidraçados, optou-se por considerar para a hipótese 2, um envidraçado duplo isolante, apresentando uma baixa emissividade, com um coeficiente de transmissão térmica de 1.40 W/m<sup>2</sup>°C, ao contrário da hipótese 1 que se admitiu um coeficiente de 3.4 W/m<sup>2</sup>°C. Para uma ideia mais concreta, em termos de perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores, para a hipótese 1 representam cerca de 175 W/°C, enquanto que para a hipótese 2 este valor foi reduzido para perto de 72 W/°C, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 59% das perdas pelos envidraçados. Convém salientar que a área total dos envidraçados é de 51.50 m<sup>2</sup>, obrigando a ter um

cuidado redobrado na escolha das características destes elementos a fim de se minimizar as perdas térmicas pelos vãos envidraçados.

Para finalizar a interpretação dos resultados deste estudo de caso, é importante mencionar os valores das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento determinados para a hipótese 2, como se indica na tabela a seguir apresentada.

Tabela 14 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento e valores máximos – hipótese 2

	<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Ni</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nic/Ni</b> [%]	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nv</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc/Nv</b> [%]
<b>Bragança</b>	136.97	197.90	69.21	4.57	18.00	25,39
<b>Aveiro</b>	58.04	98.62	58.85	3.92	16.00	24.50
<b>Beja</b>	53.03	91.82	57.75	16.35	32.00	51.09

Pela análise da tabela, verifica-se que com a melhoria das condições de isolamento da envolvente da habitação, através do aumento da espessura do isolamento e da modificação das características dos vãos envidraçados, houve uma redução significativa em relação à energia total necessária para manter um adequado nível de conforto. Mesmo com as alterações efectuadas, o valor de Ni para a região de Bragança mantém-se um pouco elevado. Isto, deve-se ao facto do clima nesta região ser bastante frio, obrigando a despendar muita energia para manter uma temperatura interior em níveis ideais.

Finalmente, a tabela abaixo apresentada serve de comparação das duas hipóteses consideradas, para as três regiões em estudo. Depreende-se que as necessidades de energia útil foram reduzidas significativamente, ao contrário dos valores calculados para o período de Verão que tiveram um acréscimo devido a que com uma espessura superior de isolamento, as trocas de calor entre o interior e o exterior são mais dificultadas, impedindo o correcto arrefecimento do interior da habitação.

Tabela 15 – Diferenças de necessidades de aquecimento e arrefecimento entre hipóteses 1 e 2

	Hipótese 1		Hipótese 2		Diferença Hip1 – Hip 2	
	Nic kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nvc kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nic kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nvc kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Ni kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nv kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)
<b>Bragança</b>	193.12	3.29	136.97	4.57	56.15	-1.28
<b>Aveiro</b>	91.94	2.85	58.04	3.92	33.90	-1.07
<b>Beja</b>	84.37	15.27	53.03	16.35	31.34	-1.08

#### 1.4. ENERGIA NECESSÁRIA PARA ABASTECER O EDIFÍCIO

Num dos capítulos iniciais deste estudo, referiu-se que um edifício de habitação corrente consome cerca de 20% da energia total consumida em Portugal. Estes consumos podem ser divididos conforme o tipo de utilização em:

- Climatização do edifício;
- Água quente sanitária (AQS);
- Iluminação e Electrodomésticos.

Nos capítulos anteriores já se efectuou o cálculo da energia necessária para a climatização do edifício. Neste ponto vai dar-se especial importância à energia consumida na iluminação da habitação e aos consumos devidos aos diversos electrodomésticos, apresentando também o método de cálculo da energia necessária para aquecimento de água quente sanitária. Obviamente que todos os dados aqui utilizados são meramente uma amostragem, podendo haver habitações que necessitem de mais energia para o seu correcto funcionamento.

Relativamente à climatização do edifício e, partindo dos valores calculados nos pontos anteriores, é possível obter um valor do consumo de energia necessária para as funções de aquecimento e arrefecimento da habitação em estudo. Sendo o estudo da viabilidade económica, entre as opções 1 e 2, examinado mais adiante, aqui apenas se vai analisar a

hipótese 2 visto que à partida se considera mais vantajosa. Assim, os valores das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento, para cada região tratada, estão discriminadas na tabela que se segue.

Tabela 16 – Necessidades totais de energia – hipótese 2

	<b>Hipótese 2</b>		
	<b>Nic</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Nvc</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	<b>Total</b> kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)
<b>Bragança</b>	136.97	4.57	141.54
<b>Aveiro</b>	58.04	3.92	61.96
<b>Beja</b>	53.03	16.35	69,38

Considerando que a habitação em análise tem uma área útil de 225 m<sup>2</sup>, a energia diária gasta para a climatização nas estações de Inverno e Verão, nas diferentes zonas climáticas, é representada pela seguinte tabela.

Tabela 17 – Necessidades nas estações de Inverno e Verão – hipótese 2

	<b>Hipótese 2</b>		
	<b>Total</b> kWh/ano	<b>Inverno</b> kWh/dia	<b>Verão</b> kWh/dia
<b>Bragança</b>	31846.50	128.41	8.57
<b>Aveiro</b>	13941.00	72.55	7.35
<b>Beja</b>	15610.50	69.78	30.65

O procedimento utilizado para calcular a necessidade de energia para preparação das águas quentes sanitárias (AQS) é o que se encontra descrito no RCCTE – Anexo VI. No referido regulamento é definido um parâmetro Nac, o qual traduz as necessidades anuais de energia útil para preparação de AQS, utilizando a seguinte fórmula de cálculo:



$$Nac = \left( \frac{Qa}{\eta a} \right) / Ap$$

em que:

Qa Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS [kWh/ano]

$\eta a$  Eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS (Anexo VI do RCCTE)

Ap Área útil de pavimento

Por sua vez, a energia dispendida com sistemas convencionais utilizados na preparação das AQS durante um ano, Qa, é dada pela seguinte expressão:

$$Qa = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} \quad (kWh / ano)$$

$M_{AQS}$  Consumo médio diário de referência de AQS [ $M_{AQS}=40$  litros x nº ocupantes]

$\Delta T$  Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS [ $45^{\circ}C$ ]

$n_d$  Número anual de dias de consumo de AQS [365 dias]

Considerando que o edifício em estudo será ocupado por 4 pessoas, substituindo os valores nas fórmulas apresentadas, conclui-se que o valor da necessidade de energia para preparação de AQS, Nac é de 12.78 [kWh/(m<sup>2</sup> x ano)]. Sabendo que a área útil do pavimento é 225 m<sup>2</sup>, constata-se que diariamente é necessário 7.88 kWh para aquecimento das AQS. De salientar que nos meses de Inverno o consumo de água quente é superior ao consumo no Verão, pelo que este valor se refere ao consumo médio.

Para uma melhor compreensão relativa à energia consumida na iluminação e electrodomésticos, vai-se tentar estabelecer uma relação aproximada entre o tipo e número de equipamentos que uma habitação normal possui. Assim, a tabela que se apresenta de seguida traduz o número de equipamentos de cada tipo, bem como a potência e o número

de horas de funcionamento. Inclui-se também o cálculo do consumo diário para os diversos tipos de equipamentos.

Tabela 18 – Consumo médio diário para diversos tipos de equipamentos

<b>Tipo de Aparelho</b>	<b>Potência Média (W)</b>	<b>Quantidade (un)</b>	<b>Utilização Diária (h)</b>	<b>Consumo Diário (kWh)</b>
Frigorífico	125	1	24	3.00
Arca congeladora	150	1	24	3.60
Máquina lavar louça	2400	1	0.5	1.20
Máquina lavar roupa	2200	1	0,75	1,65
Máquina secar roupa	2650	1	0.25	0.66
Micro-ondas	1200	1	0.25	0.30
Forno eléctrico	2400	1	0.5	1.20
Torradeira	1600	1	0.25	0.40
Máquina de café	1260	1	0.25	0.32
Aspirador	1150	1	0.5	0.58
Ferro engomar	1400	1	0.5	0,70
Computador mesa	150	1	6	0.90
Computador portátil	100	1	6	0.60
Televisão	60	2	8	0.96
Acessórios TV (DVD)	30	1	4	0.12
Iluminação	11	8	8	0.70
Diversos	100	1	5	0.50
Secador de cabelo	1500	1	0.25	0.38

Somando todas as parcelas referentes aos consumos dos vários equipamentos, conclui-se que o consumo diário, desta habitação tipo, para iluminação e electrodomésticos totaliza cerca de 18 kWh.

Para se ter uma ideia do total de energia necessária para abastecer o edifício relativamente aos três tipos de consumos anteriormente descritos, inclui-se nos gráficos a seguir apresentados os consumos de energia mensais para as diferentes localizações abordadas este estudo.

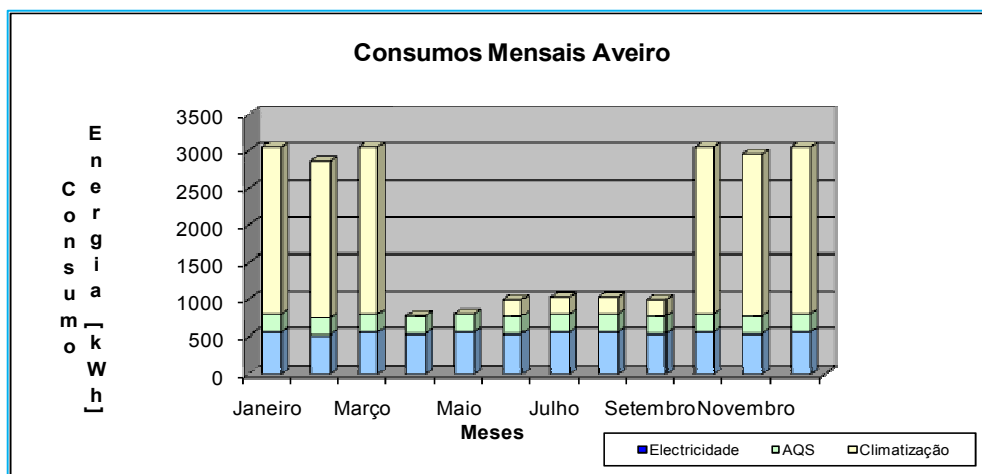


Figura 24 – Consumos mensais Aveiro

Como seria de esperar a energia necessária para a climatização do edifício é muito superior à energia eléctrica para iluminação e electrodomésticos, bem como para a preparação das águas quentes sanitárias.

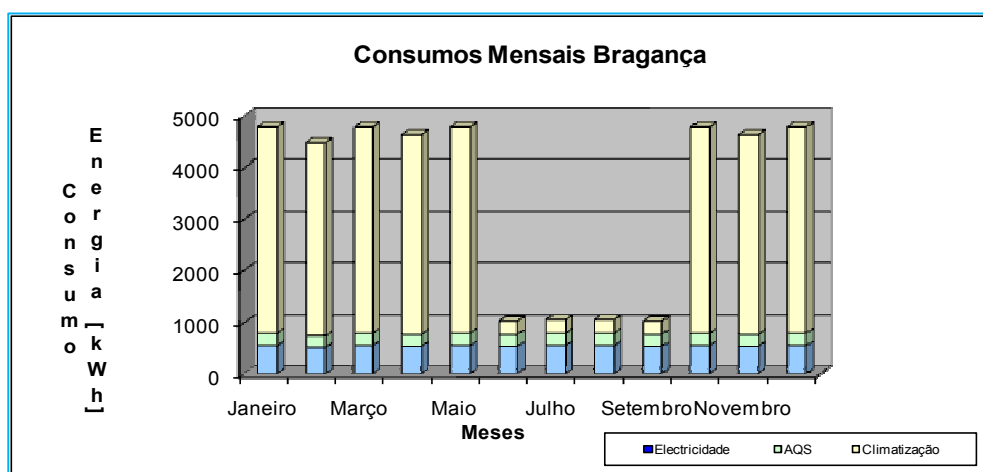


Figura 25 – Consumos mensais Bragança

Comparativamente com a região de Aveiro, nota-se um aumento significativo da energia gasta na climatização, devido ao clima mais rigoroso que se faz sentir nesta região. De notar o longo período da estação de aquecimento nesta região.

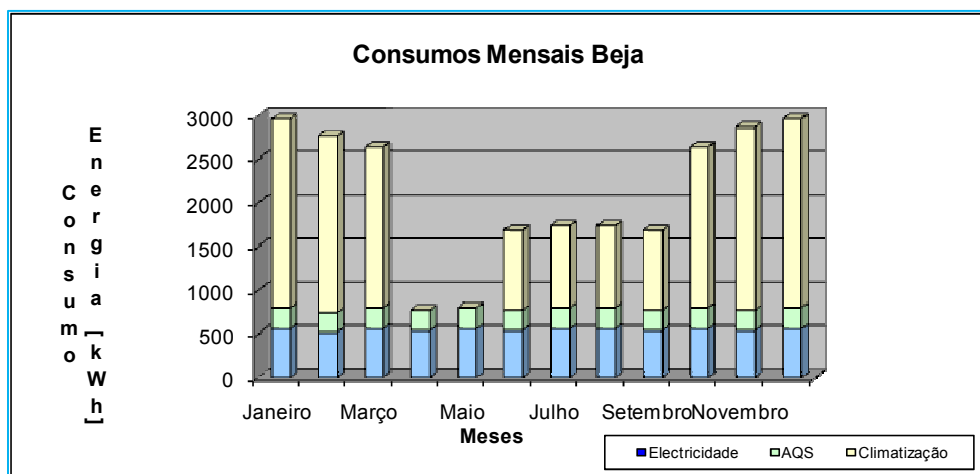


Figura 26 – Consumos mensais Beja

Ao contrário das outras regiões, Beja apresenta uma necessidade significativa de energia para climatização do edifício na estação de arrefecimento. Consta-se uma menor diferença entre o Inverno e o Verão.

### 1.5. SELECÇÃO DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Neste estudo optou-se por seleccionar equipamentos referentes aos diversos tipos de energias renováveis já mencionados num dos capítulos iniciais. Desta forma, para o aquecimento das águas quentes sanitárias utilizar-se-á a energia solar térmica, através da instalação de painéis solares apoiados por uma caldeira alimentada a biomassa. No que diz respeito à climatização do edifício, irá ser considerada a energia geotérmica para garantir a produção de metade da energia necessária para o aquecimento da habitação, sendo a restante energia produzida através da instalação de uma caldeira alimentada com recurso a pellets. Por fim, para suprir as necessidades de energia eléctrica, admite-se a instalação de um grupo de painéis fotovoltaicos e, a instalação de um aerogerador eólico. De referir que no cálculo da energia eléctrica a produzir, é necessário considerar a energia eléctrica usada no funcionamento da bomba de calor.

Na escolha dos diversos equipamentos, é importante ter atenção às suas características para que estes sejam dimensionados correctamente e de acordo com as necessidades de modo a satisfazer os fins para que são previstos.

No dimensionamento do sistema solar para aquecimento de água, foi utilizado o programa Solterm [25] do INETI que, a partir dos dados climáticos incluídos no programa e nas características de consumo, determina a energia fornecida pelos colectores solares previamente seleccionados.

Deste modo, para prover a habitação da água quente necessária ao seu bom funcionamento, considera-se um colector solar consistindo num sistema de circulação natural (termossifão), possuindo uma área de captação de 6 m<sup>2</sup>. Dependendo da região a instalar, produz em média 1900 kWh de energia por ano, convertida em energia térmica através do aquecimento da água. Comparando a capacidade de produção deste equipamento com as necessidades calculadas através do programa, verifica-se que em termos anuais a energia produzida é um pouco inferior à energia necessária para o fim a que se destina. Como se pode analisar através do gráfico e da tabela a seguir apresentados, a energia produzida varia substancialmente conforme a estação do ano, ou seja, no Inverno vai haver necessidade de recorrer a outro método de aquecimento de modo a garantir o valor previamente determinado. No caso do edifício se situar em Aveiro, os dados obtidos através da aplicação do programa Solterm são os que se indicam de seguida.

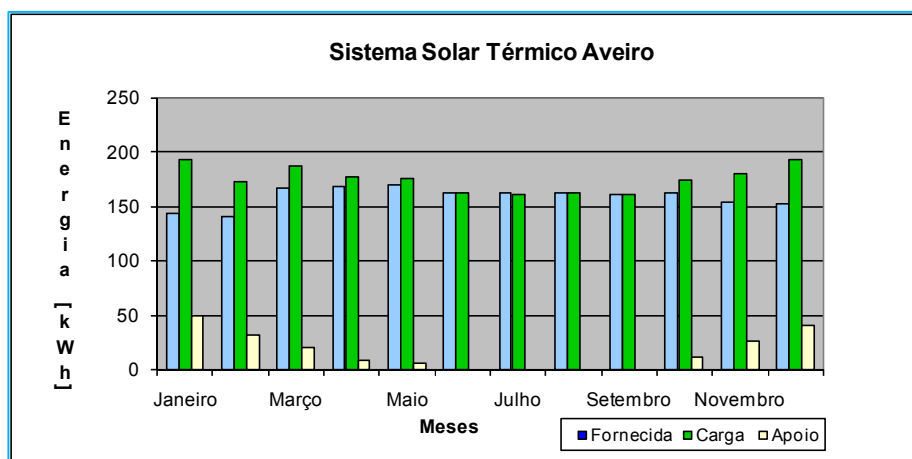


Figura 27 – Sistema solar térmico calculado para a região de Aveiro

Tabela 19 – Dimensionamento do sistema solar térmico para a região de Aveiro

	Energia Fornecida (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Janeiro	144	194	50
Fevereiro	141	173	32
Março	167	188	21
Abril	168	177	9
Maio	170	176	6
Junho	163	163	0
Julho	162	162	0
Agosto	163	163	0
Setembro	161	161	0
Outubro	162	174	12
Novembro	154	180	26
Dezembro	152	193	41
	<b>1907</b>	<b>2104</b>	<b>197</b>

Se a habitação se localizar em Beja, os valores calculados são, como seria de esperar, diferentes dos apresentados para a região de Aveiro, como se pode constatar pela análise do gráfico e da tabela que se apresenta seguidamente.

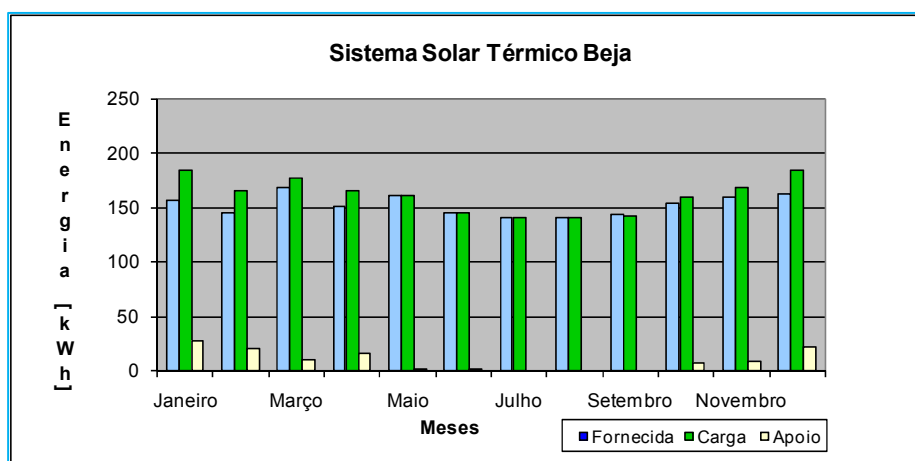


Figura 28 – Sistema solar térmico calculado para Beja

Tabela 20 – Dimensionamento do sistema solar térmico para Beja

	Energia Fornecida (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Janeiro	157	184	27
Fevereiro	145	165	20
Março	168	178	10
Abril	151	166	15
Maio	161	162	1
Junho	145	146	1
Julho	141	141	0
Agosto	141	141	0
Setembro	143	143	0
Outubro	153	160	7
Novembro	160	169	9
Dezembro	163	184	21
	<b>1828</b>	<b>1939</b>	<b>111</b>

Comparando as duas situações já expostas, importa referir que a energia necessária para abastecer o edifício é inferior no caso do edifício se localizar em Beja, devido às características climáticas desta região. Como a carga é inferior, verifica-se uma redução da energia de apoio. De salientar que, para determinados meses do ano, o valor considerado para a energia fornecida para Beja é inferior comparativamente ao de Aveiro, visto que o programa usado no cálculo destas grandezas limita este valor ao valor da carga, ou seja, não se retira o máximo aproveitamento do conjunto de painéis.

No caso de se pretender construir a habitação em Bragança, os valores determinados são os apresentados de seguida.

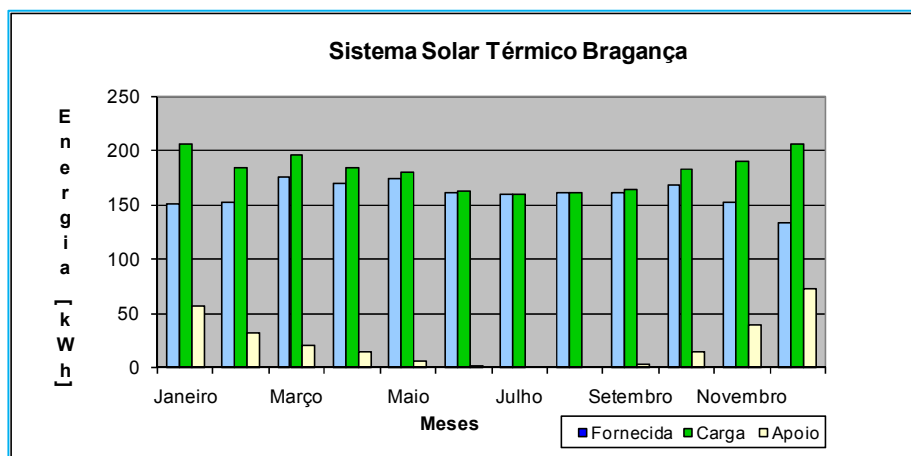


Figura 29 – Sistema solar térmico dimensionado para Bragança

Tabela 21 – Dimensionamento do sistema solar térmico para Bragança

	Energia Fornecida (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Janeiro	151	207	56
Fevereiro	152	184	32
Março	175	196	21
Abril	169	184	15
Maio	174	180	6
Junho	161	163	2
Julho	160	160	0
Agosto	161	161	0
Setembro	161	164	3
Outubro	168	183	15
Novembro	152	191	39
Dezembro	134	206	72
	<b>1918</b>	<b>2179</b>	<b>261</b>

Esta situação é similar ao que já foi descrito relativamente à energia fornecida pelos colectores e à energia necessária para abastecer o edifício. Importa referir que, como a temperatura do ar é um pouco baixa, a carga é superior comparativamente às regiões de



Aveiro e Beja, pelo que vai ser necessária mais energia de apoio para completar as necessidades.

Com base nos valores anteriormente apresentados, facilmente se constata que não é possível garantir a totalidade da energia necessária recorrendo apenas ao sistema de colectores solares adoptado. Assim, opta-se pela instalação de uma caldeira alimentada a pellets, que irá ser utilizada principalmente para a climatização do edifício, sendo dimensionada mais adiante.

No que concerne à produção de energia eléctrica prevê-se a instalação de um grupo de painéis fotovoltaicos juntamente com um aerogerador eólico, com o objectivo de se compensarem mutuamente, visto que por vezes as condições climatéricas apenas são favoráveis para o aproveitamento de um destes tipos de energias.

Quanto aos módulos fotovoltaicos, admite-se a instalação de painéis policristalinos, apresentando cada módulo uma potência de pico de 130 W. O número de painéis a instalar é calculado em função das necessidades de produção de energia eléctrica, a qual foi determinada anteriormente.

De referir que, para evitar um custo inicial elevado, vai-se considerar para este dimensionamento que parte da energia necessária para garantir a climatização do edifício vai ser produzida através da instalação de uma caldeira alimentada a pellets.

Assim, prevê-se uma necessidade diária de energia eléctrica de aproximadamente 30 kWh, repartindo-se entre energia fotovoltaica e eólica. A energia proveniente do sol irá contribuir para cerca de 73% da energia necessária, representando 22 kWh, sendo as restantes necessidades compensadas através da utilização de um aerogerador eólico, contribuindo para cerca de 8 kWh de energia diária. Como já se referiu, estes valores são meramente indicativos, assim, consoante as condições climatéricas poderá ser possível produzir mais ou menos electricidade de um dos tipos, ou seja, quando o céu se apresenta mais nublado, a energia solar produzida é inferior ao estimado, contudo, normalmente nestes períodos a velocidade do vento é superior à média, pelo que estes sistemas se compensam.

Para dimensionar o grupo de painéis fotovoltaicos a instalar, é fundamental considerar um conjunto de perdas significativas relativas aos próprios módulos fotovoltaicos, bem como devidas aos diversos acessórios como por exemplo o inversor e, perdas por condução da energia eléctrica produzida. Contudo, se se considerar a acumulação da energia produzida através de um grupo de baterias, é necessário considerar o coeficiente de perdas por autodescarga, que é a fracção de energia que a bateria perde diariamente por autodescarga e, o coeficiente de perdas por rendimento do acumulador, sendo esta parcela a quantidade de energia que o grupo acumulador não devolve em relação à energia absorvida procedente dos painéis.

Para determinar o rendimento global da instalação, considerou-se os seguintes coeficientes de perdas:

- Coeficiente de autodescarga: 0,001;
- Coeficiente de perdas no acumulador: 0,04;
- Coeficiente de perdas no inversor: 0,06;
- Coeficiente de outras perdas devidas ao equipamento e acessórios a instalar: 0,10.

Tendo como razoáveis os valores referentes aos diferentes coeficientes de perdas a ponderar para uma instalação de um sistema fotovoltaico, conclui-se que o factor global de rendimento da instalação é cerca de 0,80. Aplicando ao caso em estudo, verifica-se que a energia total a produzir para satisfazer as necessidades é de 27 kWh, sendo necessário produzir a mais 5 kWh de energia para compensar as perdas, energia essa que se perde maioritariamente na forma de calor.

De seguida descreve-se o processo de cálculo essencial para dimensionar correctamente o sistema de painéis fotovoltaicos a instalar, aplicado ao edifício localizado em Aveiro, sendo posteriormente apresentados os resultados obtidos para as restantes localizações, discutindo e comparando dados e resultados que se considerem mais relevantes.

O primeiro passo é determinar as horas de sol pico, que representa o número de horas de sol a uma intensidade de 1000 W/m<sup>2</sup>. Esta grandeza é calculada através da irradiação global horizontal para a inclinação óptima. Os valores da irradiação foram obtidos de uma base de dados disponibilizada na internet [22], os quais se transcrevem na tabela abaixo.

Tabela 22 – Irradiação global horizontal para inclinação óptima – Aveiro

Irradiação Global Horizontal para Inclinação Óptima												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
kW/m <sup>2</sup>	3270	3593	5254	5254	5866	6263	6363	6520	5767	4561	3703	3244
MJ/m <sup>2</sup>	11,8	12,9	18,9	18,9	21,1	22,5	22,9	23,5	20,8	16,4	13,3	11,7

As tabelas que se seguem indicam os valores considerados para a irradiação global horizontal para a inclinação óptima dos painéis fotovoltaicos, caso o edifício se situe em Beja ou em Bragança.

Tabela 23 – Irradiação global horizontal para inclinação óptima – Beja

Irradiação Global Horizontal para Inclinação Óptima												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
kW/m <sup>2</sup>	4086	4259	6037	5798	6569	6657	6988	7024	6299	5553	3964	3852
MJ/m <sup>2</sup>	14,7	15,3	21,7	20,9	23,6	24,0	25,2	25,3	22,7	20,0	14,3	13,9

Tabela 24 – Irradiação global horizontal para inclinação óptima – Bragança

Irradiação Global Horizontal para Inclinação Óptima												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
kW/m <sup>2</sup>	3055	3713	5254	4993	5643	6268	6422	6580	5715	4293	3028	2964
MJ/m <sup>2</sup>	11,0	13,4	18,9	18,0	20,3	22,6	23,1	23,7	20,6	15,5	10,9	10,7

Analisando as tabelas anteriormente apresentadas, verifica-se algumas diferenças consideráveis relativamente aos valores da intensidade de radiação. Como seria espectável, a radiação solar apresenta valores superiores em Beja, sendo Bragança a região com

valores mais baixos relativamente a esta grandeza. A região de Aveiro possui valores próximos comparativamente com Bragança.

Um aspecto curioso que importa referir é facto de que em certos meses do ano, o valor da irradiação é maior em Bragança do que em Aveiro, principalmente nos meses da estação de arrefecimento que abrange os meses de Junho a Setembro. Consultando o regulamento que serviu de base para o estudo térmico já descrito (RCCTE), constata-se que a região de Bragança pertence à zona climática de Verão V2, enquanto que Aveiro se localiza na zona V1. Assim se justifica a diferença nos valores obtidos para a intensidade de radiação.

De notar que, em geral, os meses de Inverno apresentam valores de cerca de metade do valor da radiação quando comparado com os meses de Verão, pelo que obriga a dotar o edifício de uma grande quantidade de painéis fotovoltaicos.

Como o objectivo deste estudo é criar uma habitação auto-suficiente, ou seja, fazer com que o edifício possua equipamento para produzir a energia que necessita, torna-se crucial dimensionar o equipamento para o mês em que as condições climáticas são mais desfavoráveis que, neste caso concreto é o mês de Dezembro, sendo o valor da irradiação de 11,7 MJ/m<sup>2</sup>, no caso de Aveiro. Beja apresenta o valor mínimo de 13,9 MJ/m<sup>2</sup>, enquanto que Bragança possui uma intensidade de radiação de 10,7 MJ/m<sup>2</sup>, ambos os valores referentes ao mês de Dezembro.

Dividindo o valor da energia total diária que é condensada numa hora por 1000 W/m<sup>2</sup> obtemos o número de horas de sol pico que, para Aveiro representa 3,24 horas. Como seria de esperar, Beja apresenta 3,85 horas de sol pico e, Bragança possui apenas 2,96 horas. Os valores aqui obtidos, vão ao encontro do que se tem vindo a explicar ao longo desta descrição.

Finalmente, sabendo a quantidade de energia a produzir diariamente e a potência dos painéis a instalar, determina-se o número de painéis fotovoltaicos que o sistema deve possuir para garantir que se produza a energia necessária para o mês mais desfavorável. De referir que, o mês mais desfavorável coincide com um dos meses de maior consumo, pelo que não é necessário analisar os restantes meses do ano.

Assim, para se garantir uma produção diária mínima de 22 kWh, é inevitável que o edifício situado em Aveiro possua 65 painéis fotovoltaicos com uma potência de 130 W. A potência total instalada é de 8450 kWh. Para o edifício localizado em Beja, o número de painéis a

instalar é inferior, sendo necessários 55 painéis, totalizando uma potência de instalação de 7150 kWh. Por fim, em Bragança são necessários 71 painéis para suprir as necessidades energéticas consideradas, perfazendo 9230 kWh de potência instalada.

Nesta fase, é possível determinar a energia produzida pelo sistema adoptado para os restantes meses do ano, como se apresenta de seguida, aplicando o processo de cálculo já descrito.

Tabela 25 – Valores de energia produzida por sistema fotovoltaico instalado em Aveiro

Energia Produzida (kWh)	
Janeiro	687
Fevereiro	702
Março	1100
Abril	1065
Maio	1228
Junho	1268
Julho	1333
Agosto	1368
Setembro	1172
Outubro	955
Novembro	749
Dezembro	681

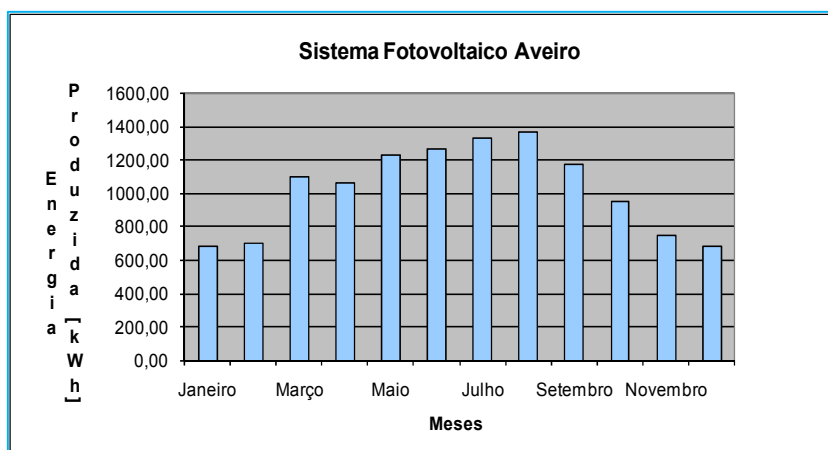


Figura 30 – Sistema solar fotovoltaico calculado para a região de Aveiro

Tabela 26 – Valores de energia produzida por sistema fotovoltaico instalado em Beja

Energia Produzida (kWh)	
Janeiro	724
Fevereiro	705
Março	1069
Abril	996
Maio	1162
Junho	1144
Julho	1241
Agosto	1246
Setembro	1082
Outubro	985
Novembro	682
Dezembro	685

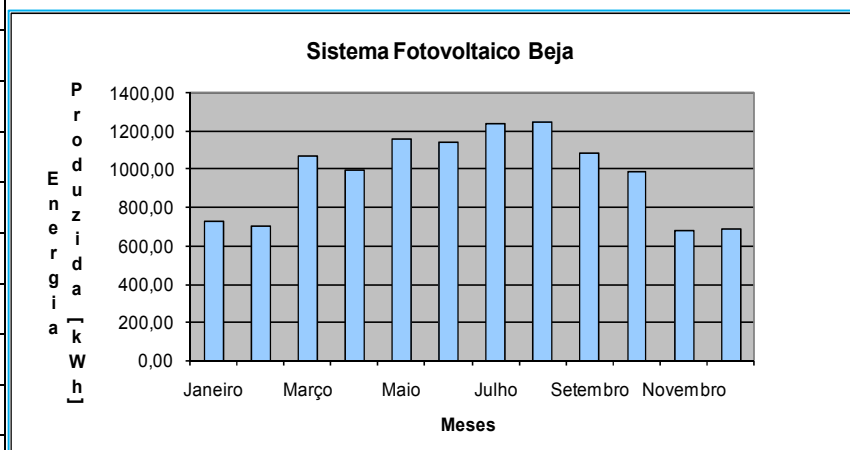


Figura 31 – Sistema solar fotovoltaico dimensionado para Beja

Tabela 27 – Valores de energia produzida por sistema fotovoltaico instalado em Bragança

Energia Produzida (kWh)	
Janeiro	699
Fevereiro	797
Março	1202
Abril	1108
Maio	1291
Junho	1391
Julho	1469
Agosto	1507
Setembro	1268
Outubro	986
Novembro	671
Dezembro	680

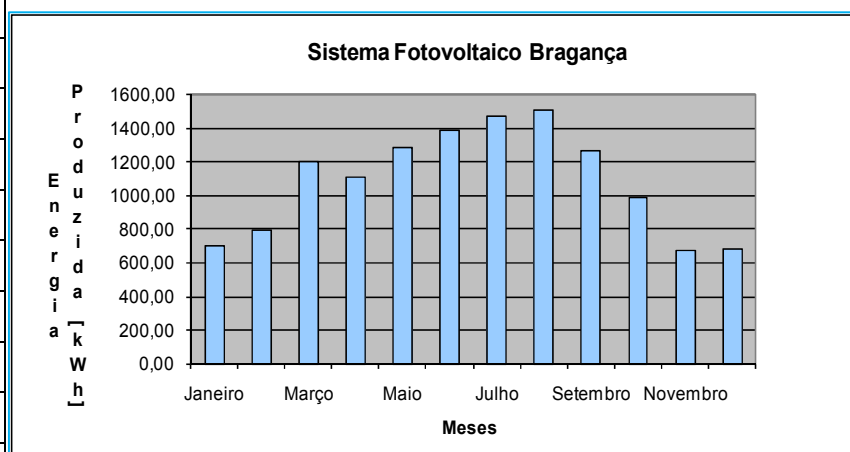


Figura 32 – Sistema solar fotovoltaico dimensionado para Bragança

Através da informação aqui apresentada, é possível retirar uma série de conclusões interessantes para este estudo, que permitem a comparação entre as diversas hipóteses consideradas.

Numa primeira análise, importa referir a produção anual de energia eléctrica produzida. Assim, em Aveiro com a instalação de 65 painéis fotovoltaicos com uma potência unitária de 130 W, produz-se cerca de 12300 kWh de energia eléctrica, sendo que cada painel produz anualmente aproximadamente 189 kWh de energia. Em Beja, produz-se cerca de 11700 kWh com um conjunto de 55 painéis, o que perfaz cerca de 213 kWh por painel num ano. Esta diferença deve-se, como já foi explicado, ao facto da radiação solar apresentar valores substancialmente superiores aos de Aveiro. Por fim, no caso do edifício se localizar em Bragança são necessários 71 painéis, devido a que neste caso a irradiação é um pouco inferior a Aveiro, produzindo-se aproximadamente 13070 kWh, o que faz com que cada painel tenha uma produção anual de 184 kWh.

Como já foi referido, o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos foi efectuado para o mês mais desfavorável. Para os três casos considerados neste estudo, o cálculo foi efectuado para Dezembro, apresentando este mês o menor valor de irradiação solar. Assim se percebe claramente a razão pela qual a quantidade de energia produzida neste mês é similar para as diferentes localizações.

Outra forma de produção de energia eléctrica trata-se da instalação de um aerogerador eólico, que transforma a energia do vento em energia eléctrica. Como se referiu, a turbina eólica vai ser dimensionada para produzir cerca de 8 kWh o que, anualmente representa aproximadamente 3000 kWh.

Para o dimensionamento deste tipo de equipamento, é fundamental considerar os dados climáticos [] para a região em estudo, tais como frequência e velocidade do vento. No caso de o edifício se localizar na região de Aveiro, os dados mensais relativos à velocidade do vento são os indicados na tabela seguinte.

Tabela 28 – Velocidade média do vento em Aveiro

Velocidade média do vento (m/s) – Aveiro											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4,1	4,3	4,2	4,0	3,8	3,4	3,5	3,4	3,3	3,6	3,8	4,2

Já para as regiões de Beja e Bragança os valores mensais da velocidade do vento variam significativamente, como se pode constatar pelas tabelas abaixo indicadas.

Tabela 29 – Velocidade média do vento em Beja

Velocidade média do vento (m/s) – Beja											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
4,2	4,5	4,5	4,4	4,5	4,3	4,4	4,5	4,0	4,1	4,1	4,2

Tabela 30 – Velocidade média do vento em Bragança

Velocidade média do vento (m/s) – Bragança											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,6	3,2	3,3	3,3	3,2	2,9	2,9	2,9	2,5	2,4	2,5	2,6

Comparando as três regiões em estudo, conclui-se que em Beja a velocidade do vento é superior à das restantes cidades consideradas. Importa referir que em Aveiro a intensidade do vento é maior nos meses de Inverno. Este facto explica-se devido a que no Verão ocorrem durante o dia períodos em que o vento apresenta uma intensidade média mas, durante a noite esta intensidade é bastante inferior, pelo que a média diária é baixa comparativamente aos meses de Inverno em que a intensidade do vento é mais constante ao longo do dia. Já em Beja e em Bragança a velocidade do vento é mais estável ao longo dos meses. De salientar a grande diferença entre estas duas regiões que, como se pode ver adiante contribuem de forma distinta para a produção de energia eléctrica a partir deste recurso inesgotável.

Assim, para este tipo de energia renovável, opta-se pela instalação de uma turbina eólica caracterizada pelas curvas apresentadas de seguida.



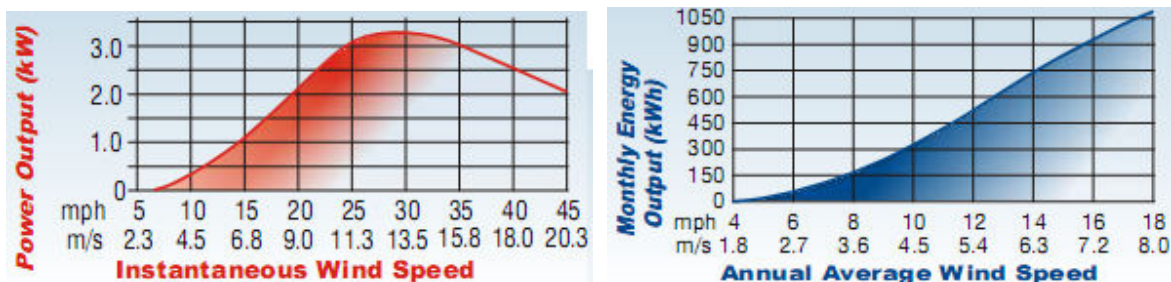


Figura 33 – Curvas características do aerogerador eólico adoptado

Através das curvas de rendimento da turbina e considerando os valores da velocidade média do vento, determina-se a energia produzida instantaneamente ou mensalmente com o tipo de equipamento seleccionado. Assim, as tabelas abaixo apresentadas traduzem a quantidade de energia produzida com recurso ao vento.

Tabela 31 – Energia produzida por turbina eólica instalada em Aveiro

Energia produzida (kWh)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
225	300	250	200	175	130	140	130	120	150	175	250

Tabela 32 – Energia produzida por turbina eólica instalada em Beja

Energia produzida (kWh)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
250	330	330	320	330	300	320	330	200	225	225	250

Tabela 33 – Energia produzida por turbina eólica instalada em Bragança

Energia produzida (kWh)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
60	110	120	120	110	80	80	80	50	40	50	60

Importa referir que os valores apresentados aplicam-se apenas a esta turbina e nas regiões aqui consideradas. Facilmente se conclui que a capacidade média anual de produção de energia eléctrica utilizando a energia eólica é cerca de 2245 kWh em Aveiro, 3410 kWh em Beja e, apenas 960 kWh em Bragança. Apesar da análise da viabilidade económica ser feita

num capítulo posterior, facilmente se compreende que a instalação da turbina eólica em Bragança não é rentável, visto que a energia produzida com este equipamento é muito reduzida.

De salientar que, de modo a compensar a reduzida produção de energia eléctrica com recurso a painéis fotovoltaicos no mês de Dezembro, é imprescindível garantir que neste mesmo mês seja também acautelada a produção mínima através da turbina eólica, ou seja 8 kWh/dia, o que totaliza 248 kWh durante todo o mês.

Assim, em Aveiro e em Beja como a quantidade esperada de energia a produzir em Dezembro é superior ao mínimo necessário, estão satisfeitas todas as condições, levando a concluir que a turbina adoptada é suficiente para suprir as necessidades da habitação em estudo.

Contudo, depara-se com um problema referente a este tipo de instalação na região de Bragança, visto que como a energia produzida é muito reduzida, não se garante a totalidade da energia necessária no mês mais desfavorável, pelo que é inevitável encontrar uma solução para compensar esta diferença.

Deste modo, opta-se pela colocação de mais alguns painéis fotovoltaicos para fazer face às necessidades de energia eléctrica da habitação. Seguindo o método de cálculo anteriormente descrito, facilmente se conclui que para garantir a energia desejada, é necessário um acréscimo de 20 painéis com as características já indicadas, de modo a produzir-se mais 6,2 kWh/dia no mês de Dezembro.

Com o aumento do número de painéis a energia produzida por estes ao longo do ano vai também sofrer uma significativa alteração, ou seja, vai ocorrer um acréscimo da energia produzida, como mostra a tabela e o gráfico expostos de seguida.

Tabela 34 – Energia produzida por sistema fotovoltaico instalado em Bragança

Energia Produzida (kWh)	
Janeiro	896
Fevereiro	1022
Março	1540
Abril	1420
Maio	1654
Junho	1782
Julho	1883
Agosto	1931
Setembro	1625
Outubro	1263
Novembro	860
Dezembro	872

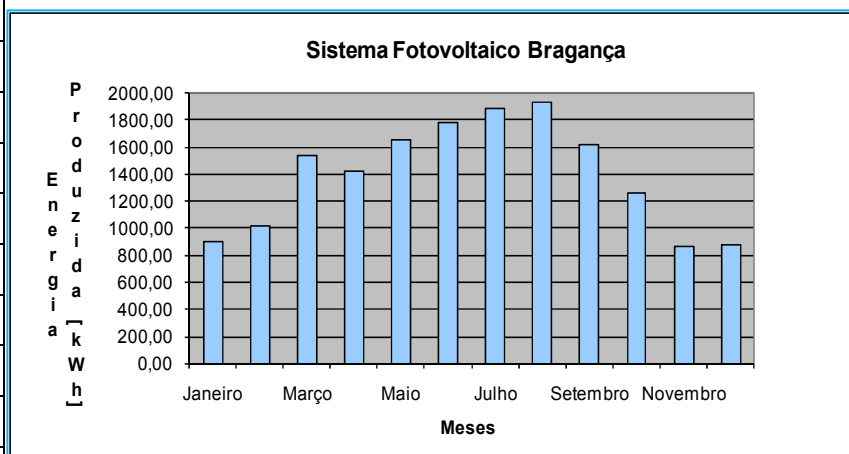


Figura 34 – Sistema solar fotovoltaico dimensionado para Bragança

Por fim, quanto à energia para climatização do edifício, admite-se que as necessidades serão suportadas através da instalação de uma bomba de calor com recurso à energia geotérmica. Contudo, para reduzir um pouco o consumo de energia eléctrica, visto que o funcionamento da bomba de calor também requer electricidade, recorre-se juntamente a uma caldeira alimentada a biomassa, mais propriamente a pellets.

Desta forma, a energia geotérmica irá contribuir com cerca de 36 kWh de energia diária durante o período de inverno, enquanto que a caldeira a pellets deverá apresentar uma capacidade adequada para completar a energia necessária para a produção das águas quentes sanitárias e climatização, como se irá ver mais à frente.



Figura 35 – Bomba de calor para energia geotérmica

Quanto à energia geotérmica, optou-se para este estudo pela instalação de uma bomba de calor que apresenta uma potência de aquecimento de 4,80 kW, sendo a potência eléctrica absorvida cerca de 1,50 kW. Este equipamento possibilita o aquecimento de água até 50 °C, com a entrada de água a 0°C. A instalação desta bomba de calor concede uma poupança de energia de cerca de 70%.

Como já se referiu, para evitar uma grande quantidade de energia eléctrica para o funcionamento da bomba de calor, admite-se neste estudo que parte da energia de climatização vai ser fornecida através de uma caldeira a pellets.

Para ser possível dimensionar mais detalhadamente, considere-se a tabela abaixo onde se indica as necessidades de energia para o mês de maior consumo e a produção de energia até agora calculada de cada tipo de energia considerada, a fim de se poder determinar de forma exacta qual a quantidade de energia a produzir com recurso à caldeira alimentada a pellets.

Tabela 35 – Determinação das necessidades de energia com recurso à caldeira a pellets

Energia (kWh)	Aveiro	Bragança	Beja
Consumida Dezembro	2807	4539	2721
Consumida diária	90,55	146,42	87,77
Produzida Fotovoltaico	22	28	22
Produzida Eólico	8	2	8

Produzida Geotérmico (eq)	36	36	36
Total Produzida	66	66	66
Em falta	24,55	80,42	21,77
Mínima com recurso a pellets	30	85	25

Pela análise da tabela anterior, verifica-se que é necessário garantir uma produção diária de 30 kWh para Aveiro, 85 kWh para Bragança e, 25 kWh para a região de Beja, de modo a garantir as necessidades calculadas. Assim, o equipamento irá ser dimensionado para cada uma das situações.

Existe já uma ampla oferta de caldeiras alimentadas a pellets. Importa destacar que este tipo de equipamento apresenta um rendimento médio de 90%, tratando-se de uma boa solução para completar as necessidades de aquecimento e mesmo de águas quentes sanitárias. Neste caso concreto, para produzir a quantidade de energia necessária é suficiente considerar uma caldeira com uma potência relativamente baixa, de aproximadamente 12 kW. Uma caldeira alimentada a pellets apresenta um custo médio de 0,05 €/kWh de energia produzida.



Figura 36 – Caldeira alimentada a pellets

Nos dois últimos tipos de energia considerados (geotérmica e biomassa), para além do custo inicial do investimento e custos de manutenção, apresenta ainda custos relativos ao combustível usado que, no caso da energia geotérmica trata-se de energia eléctrica e, no caso da biomassa os pellets.

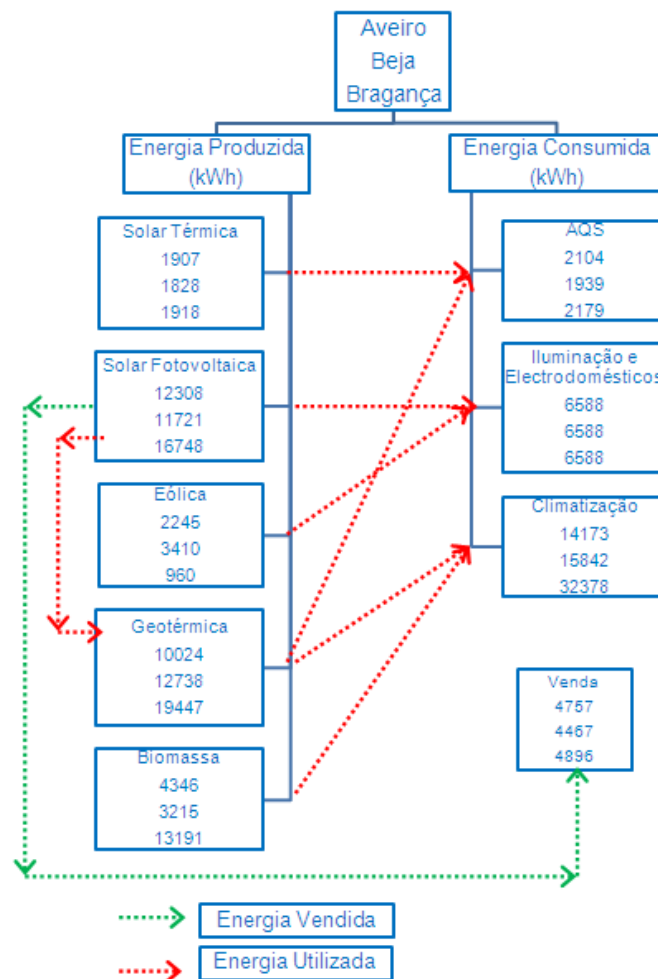


Figura 37 – Diagrama representativo da energia produzida e consumida

## 1.6. TIPO DE ARMAZENAMENTO DA ENERGIA

Quando se opta pela instalação de sistemas de energias renováveis, é necessário ter em atenção o tipo de armazenamento pretendido para a energia produzida. Existem duas soluções possíveis:

- Acumulação da energia através da instalação de um grupo de baterias;
- Venda da energia produzida à rede eléctrica.

Para se encontrar a solução mais vantajosa é importante ter em consideração um conjunto de factores, tais como a quantidade de energia necessária para satisfazer as necessidades diárias, a distância do edifício à rede de energia bem como os aspectos relacionados com o custo do equipamento de acumulação e o preço de venda da energia à rede eléctrica.

Assim, no caso de se tratar de uma habitação isolada, poderá ser mais vantajoso a colocação de acumuladores de energia, não sendo desta forma necessário investir na construção de um ramal de electricidade que muitas vezes é o proprietário da habitação a suportar estes custos. No caso da habitação se encontrar próxima da rede eléctrica, o proprietário pode optar por vender a totalidade da energia produzida através dos vários sistemas de energias renováveis à entidade distribuidora da energia eléctrica, vendendo a energia a um preço substancialmente superior ao preço da energia que gasta no abastecimento eléctrico da sua habitação.

Caso se opte pela instalação de um grupo de baterias para armazenar a energia convém que estas sejam correctamente dimensionadas a fim de evitar falhas de energia, principalmente quando a produção de energia é menor, o que acontece normalmente nos períodos de inverno visto que a radiação solar é mais reduzida e durante um menor período de tempo. Em termos de dimensionamento, o mais usual é considerar uma autonomia de dois dias para que não ocorra quebras de energia. Para além das baterias, é necessário adquirir um carregador de baterias e um regulador de carga, para que não ocorra grandes variações de carga, o que pode ser prejudicial para o sistema instalado.

Para os casos de estudo aqui apresentados, considerando uma autonomia de dois dias e uma produção diária nos meses de inverno de aproximadamente 30 kWh, é necessário que as baterias tenham uma capacidade de armazenamento de 60 kWh de modo a garantir o abastecimento eléctrico. Importa referir que apesar dos consumos serem distintos nas três regiões adoptadas, considerou-se que a energia eléctrica seria idêntica, completando assim as necessidades de energia através da instalação de uma caldeira alimentada a pellets.

Assim, opta-se pela instalação de baterias com uma capacidade de 250 Ah. Para garantir a acumulação de energia durante dois dias de consumo normal são necessárias 30 baterias, o que implica um investimento de cerca de 15 000 €.



Figura 38 – Exemplo de acumulador de energia

No início do mês de Novembro de 2007, foi publicado o decreto-lei nº 363/2007 que entrou em vigor a partir de Fevereiro de 2008, permitindo a todos os proprietários que possuam uma instalação de energias renováveis vender a energia produzida à rede eléctrica. Com esta legislação é criado um regime simplificado aplicado à micro-produção de electricidade, denominado de “Renováveis na Hora”, facilitando o processo contratual que até à data era bastante burocrático. É ainda definido neste regulamento dois tipos de regime de venda de energia, consoante a potência instalada. Assim, o regime bonificado abrange as unidades de micro produção até 3,68 kW que utilizem energias renováveis e que cumpram certas condições, tais como a integração no sistema de um colector solar térmico com um mínimo de 2 m<sup>2</sup>. Caso se pretenda instalar uma potência superior, aplica-se o regime geral descrito nesta legislação em que se estabelece que o preço de venda de energia à rede é igual à tarifa de compra, preço este que é definido pela ERSE – Entidade Reguladora do Sector Energético.

### 1.7. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA

A finalidade deste capítulo é analisar a viabilidade económica das soluções propostas e determinar qual o período de amortização para o investimento que se pretende. Para este estudo considera-se os seguintes casos:

- Caso 1: estudo da viabilidade de redução das necessidades de aquecimento, através da melhoria das características da envolvente exterior do edifício, actuando-se ao nível dos elementos opacos, aumentando a espessura de isolamento térmico e melhorando as características dos vãos envidraçados.



- Caso 2: Análise da viabilidade económica relativa à utilização de diversas fontes de energia renováveis, fazendo com que o edifício em estudo se torne auto-suficiente, podendo armazenar a energia necessária através de um conjunto de baterias ou vendendo a energia eléctrica que produz à rede eléctrica.

Relativamente ao caso 1, é fundamental averiguar os custos associados às alterações propostas, ou seja, referentes ao acréscimo da camada de isolamento térmico, bem como à melhoria das características dos vãos envidraçados.

Para determinar o período de amortização é essencial recorrer aos valores já determinados, relativos às hipóteses apresentadas no início deste capítulo e, calcular qual a quantidade de energia que é possível reduzir com as alterações pretendidas.

Para tornar a análise económica mais fiável deve considerar-se uma taxa de juro ao longo do período de análise. Neste caso opta-se por admitir uma taxa constante igual a 3%.

As tabelas seguintes traduzem a diferença volumétrica de isolamento térmico para as duas hipóteses consideradas nas diferentes localizações em estudo e a poupança de energia no caso de se optar pela segunda hipótese.

Tabela 36 – Diferença de espessuras de isolamento

	Área (m <sup>2</sup> )	Bragança			Aveiro			Beja		
		Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )	Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )	Hip.1 (cm)	Hip.2 (cm)	Dif (m <sup>3</sup> )
<b>Uc1</b>	227.80	8	10	<b>4.56</b>	6	8	<b>4.56</b>	6	8	<b>4.56</b>
<b>Upr1</b>	327.20	5	8	<b>9.82</b>	3	6	<b>9.82</b>	3	6	<b>9.82</b>
<b>Upr2</b>	20.04	2	4	<b>0.40</b>	0	2	<b>0.40</b>	0	2	<b>0.40</b>
<b>Upv1</b>	27.23	3	5	<b>0.54</b>	2	4	<b>0.54</b>	2	4	<b>0.54</b>
<b>Upv2</b>	194.90	6	8	<b>3.90</b>	4	6	<b>3.90</b>	4	6	<b>3.90</b>

Tabela 37 – Diferença de necessidades de aquecimento e arrefecimento

	Hipótese 1		Hipótese 2		Diferença Hip1 – Hip 2	
	Nic kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nvc kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nic kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nvc kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Ni kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)	Nv kWh/(m <sup>2</sup> ·ano)
<b>Bragança</b>	193.12	3.29	136.97	4.57	56.15	-1.28
<b>Aveiro</b>	91.94	2.85	58.04	3.92	33.90	-1.07
<b>Beja</b>	84.37	15.27	53.03	16.35	31.34	-1.08

No que diz respeito aos custos de investimento, é legítimo considerar o custo do isolamento térmico de aproximadamente 120 €/m<sup>3</sup>, enquanto que relativamente aos vãos envidraçados a diferença de preço entre um envidraçado com vidro duplo e um envidraçado com vidro duplo isolante, contendo na caixa de ar gás árgon de modo a possuir baixa emissividade, ronda cerca de 70 €/m<sup>2</sup>.

Partindo dos vários parâmetros já descritos para o cálculo do período de amortização, obtém-se o seguinte gráfico, para o caso do edifício em estudo se localizar em Aveiro.

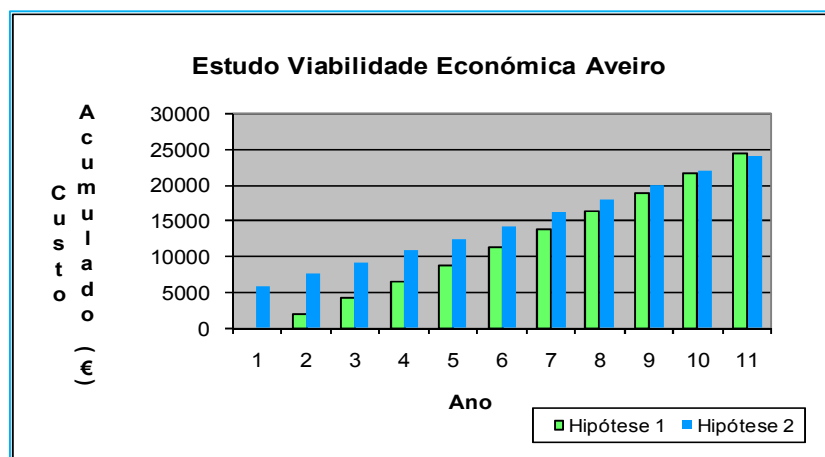


Figura 39 – Estudo de viabilidade económica em Aveiro – caso 1

Assim, verifica-se que ao fim de 10 anos o investimento inicial é amortizado, o que, considerando uma vida útil para o edifício de cerca de 40 anos, trata-se de um bom investimento, principalmente porque se garante desta forma um adequado conforto, factor muito importante para quem pretende construir ou comprar uma habitação.

No caso da habitação de localizar em Bragança ou em Beja, o investimento inicial a considerar e o período de amortização são os que se indicam de seguida.

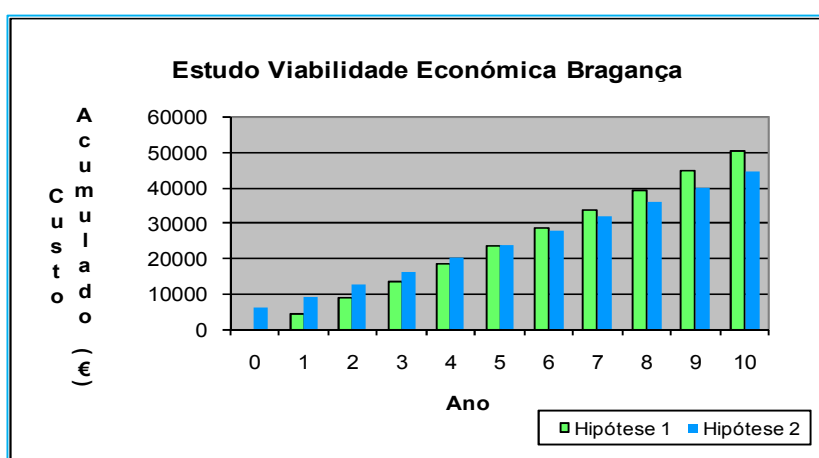


Figura 40 – Estudo de viabilidade económica em Bragança – caso 1

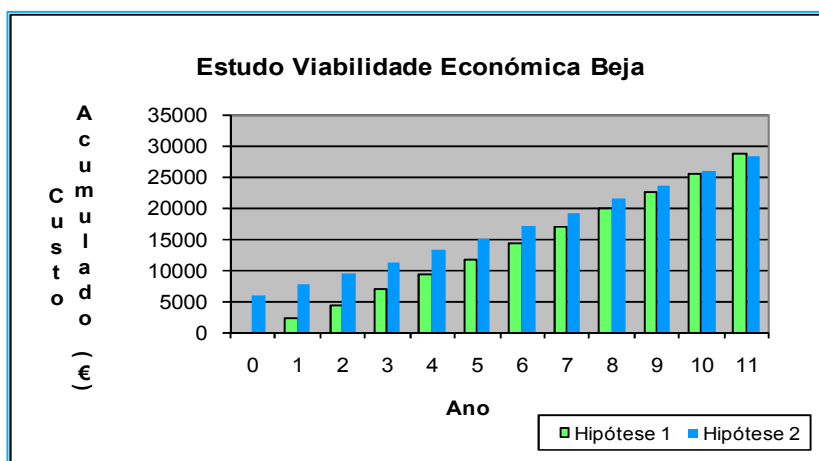


Figura 41 – Estudo de viabilidade económica em Beja – caso 1

Analisando detalhadamente os gráficos apresentados, verifica-se que, comparativamente com a situação de Aveiro, no caso da região de Bragança o investimento é amortizado num período de tempo menor, ao contrário do que acontece em Beja em que o período de amortização é similar ao que foi determinado para Aveiro. Os resultados obtidos estão de acordo com os esperados, visto que na região de Bragança um pequeno investimento confere um nível de poupança de energia significativo.

Nesta primeira fase, conclui-se que o investimento em eficiência energética, através da melhoria do comportamento térmico da envolvente da habitação, é bastante rentável, sendo o investimento amortizado em média num período entre 6 e 10 anos.

Para a análise da viabilidade económica no caso 2, respeitante à utilização de energias renováveis de modo a tornar a habitação produtora da energia necessária, deve considerar-se a quantidade de energia eléctrica gasta anualmente, calculada no ponto anterior, o investimento inicial na compra de todo o equipamento necessário, bem como, um valor médio anual relativo a custos de manutenção.

Os equipamentos atrás seleccionados totalizam um investimento inicial de aproximadamente 75 000 € e, segundo dados consultados através dos fabricantes dos equipamentos, pode estimar-se um custo de manutenção anual de cerca de 500 €.

Tabela 38 – Energia necessária para abastecer o edifício

	<b>Energia Eléctrica (kWh/dia)</b>	<b>Energia Climatização (kWh/dia)</b>	<b>Energia AQS (kWh/dia)</b>	<b>Total Energia (kWh/dia)</b>	<b>Total Energia (kWh/ano)</b>
<b>Bragança</b>	18	87.25	7.88	113.13	41 293
<b>Aveiro</b>	18	38.19	7.88	64.07	23 386
<b>Beja</b>	18	42.77	7.88	68.65	25 057

A tabela anterior fornece o valor da energia anual no caso de não se considerar as energias renováveis, utilizando a energia eléctrica para todos os consumos da habitação, ou seja, para AQS, climatização e iluminação e electrodomésticos.

No que respeita ao custo acumulado no caso de se optar pela instalação das energias renováveis atrás descritas, é indispensável ponderar os vários custos e receitas associadas a este investimento. Assim, para as três regiões, as grandezas aqui consideráveis tomam os seguintes valores previsionais:

- Custo do investimento inicial: 65 000 € (Aveiro); 85 000 € (Bragança); 58 000 € (Beja);
- Custo anual de manutenção: 250 € (Aveiro); 350 € (Bragança); 200 € (Beja);
- Compra anual da energia eléctrica necessária: 1 041 € (Aveiro); 1 362 € (Bragança); 1 137 € (Beja);
- Custo anual da matéria-prima (pellets) para alimentação da caldeira: 200 € (Aveiro); 600 € (Bragança); 150 € (Beja);
- Taxa de juro considerada: 3%;
- Taxa de inflação da energia eléctrica: 5%;
- Venda anual da totalidade da energia eléctrica produzida à rede: 516 € (Aveiro); 533 € (Bragança); 482 € (Beja) (importa referir que acima de 3,86 kW de potência instalada, a tarifa de venda de energia é igual à tarifa de compra).

Desta forma, o gráfico que demonstra a viabilidade económica da solução proposta é o seguinte.

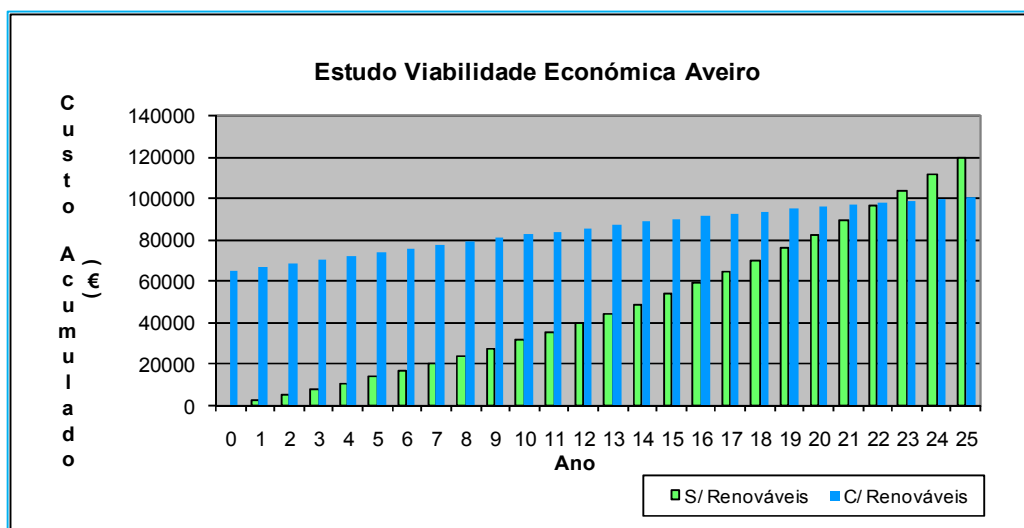


Figura 42 – Estudo de viabilidade económica em Aveiro – caso 2

Pela análise do gráfico, conclui-se que só ao fim de 23 anos o investimento é amortizado.

Para as outras duas regiões consideradas neste estudo, obtiveram-se os seguintes gráficos relativos ao estudo da viabilidade económica referente ao investimento em energias renováveis.

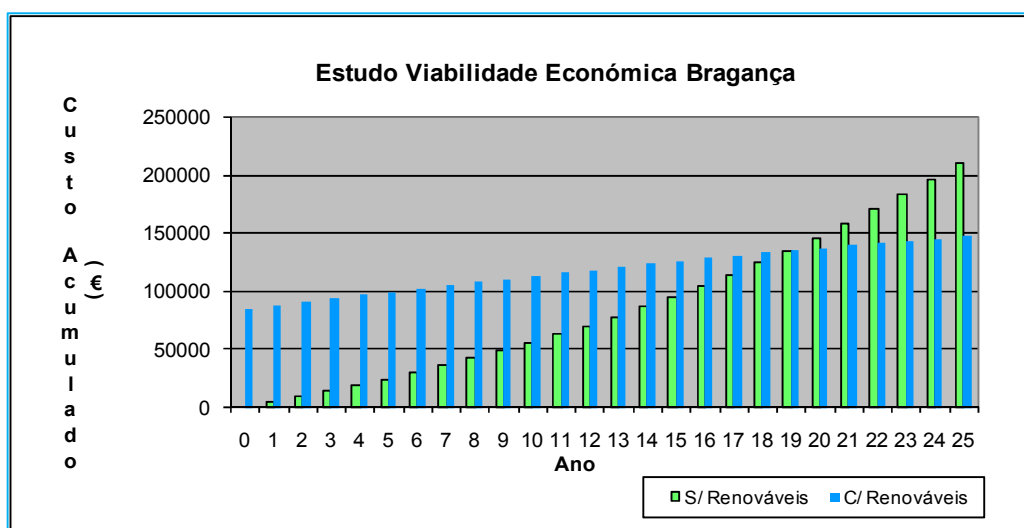


Figura 43 – Estudo de viabilidade económica em Bragança – caso 2

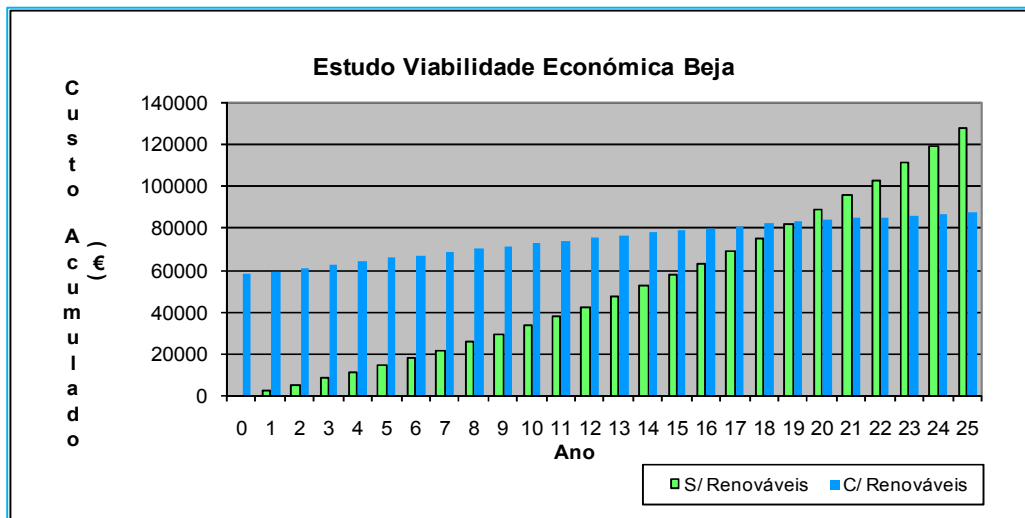


Figura 44 – Estudo de viabilidade económica em Beja – caso 2

Para estas duas hipóteses, o investimento é amortizado ao fim de 20 anos.

Este longo período de amortização deve-se ao custo do equipamento de produção de energia ainda ser muito elevado, apesar do grande desenvolvimento que tem ocorrido nos últimos anos e da crescente oferta no mercado das várias energias renováveis consideradas neste estudo. Convém referir que a grande maioria dos fabricantes assegura uma vida útil média de 20 a 25 anos. De salientar também que o preço de venda da energia produzida à rede eléctrica não é muito favorável, visto que a partir de 3,86 kW de potência instalada o preço de venda é similar ao preço de compra, ou seja, um pouco inferior a 0,11 € no ano de realização deste estudo. A tarifa é bem mais interessante quando se trata de uma potência instalada até 3,86 kW, contudo, não seria possível projectar um edifício de habitação que apresente o consumo médio já descrito com apenas esta potência instalada.

Em resumo, o investimento nas energias renováveis aqui considerado é amortizado no limite da vida útil do equipamento.

Por fim, relativamente ao tipo de acumulação da energia, como se observou num ponto anterior, é necessário um elevado conjunto de baterias para permitir acumular a energia consumida num período de dois dias, pelo que não será rentável este investimento, a não

ser que o edifício se situe a uma distância considerável da rede pública e caso tenha que ser o proprietário a pagar o custo do ramal de alimentação. Torna-se importante mencionar que quando as condições são propícias à produção de energia e se produz mais energia do que a necessária para abastecer o edifício, no caso de se optar por acumulação da energia através de um grupo de baterias, a energia produzida para além da capacidade destas é desperdiçada. Esta situação não acontece quando se opta por vendê-la à rede pública. Por estes motivos a ligação à rede pública torna-se mais vantajosa, apesar de a tarifa ser relativamente baixa para a potência instalada que se deseja.



## CONCLUSÃO

---

A presente dissertação tinha como principais objectivos a criação de um edifício que fosse energeticamente eficiente e auto sustentável, ou seja, que produzisse a totalidade da energia necessária para garantir o bem-estar dos seus ocupantes e que, no final, a informação divulgada pudesse contribuir para um futuro sustentável por parte do cidadão comum.

Através da recolha de diversas informações, constatou-se que esta temática, complexa e transversal, tem estado no centro das preocupações de várias organizações mundiais, incluindo Portugal que, em conjunto com outros estados membros da União Europeia, estabeleceu algumas metas a nível energético, incentivando a poupança de energia e promovendo a utilização de energias renováveis. Foram inúmeros programas e protocolos, entre os quais se destaca o Protocolo de Quioto, em que participaram entidades governamentais de todo o mundo, traçando-se medidas para reduzir as emissões dos gases poluentes na atmosfera, provocado principalmente pela produção de energia.

Outro dos aspectos importantes que foi focado ao longo deste estudo é a utilização racional de energia e a eficiência energética, pois só assim será possível garantir a segurança no abastecimento energético, através da implementação de medidas que possibilitem a redução dos consumos. Importa referir que só faz sentido a utilização de energias renováveis quando se prevê a implementação de medidas que promovam a racionalização dos consumos, sendo esta uma questão fundamental para a grande maioria dos edifícios em Portugal, particularmente os de habitação.

A última parte desta dissertação, refere-se ao estudo de um caso concreto, através da aplicação dos conceitos abordados ao longo da parte teórica.

Numa primeira fase, mencionou-se a temática da utilização racional de energia e eficiência energética, através do estudo térmico de um edifício de habitação unifamiliar. Este trabalho, aplicado a três regiões de Portugal, permitiu concluir que o clima no nosso país é bastante diferente consoante a região considerada. Assim, um edifício que cumpra os requisitos térmicos na zona de Aveiro ou Beja, poderá não cumprir na região de Bragança, visto que o clima é mais frio. Constatou-se que o edifício em Bragança exigia um aumento de espessura de isolamento térmico em média de 2 cm em toda a envolvente opaca da habitação, comparativamente com as restantes regiões consideradas.

Fazendo o mesmo estudo para a alteração proposta, na qual se melhorou as características da envolvente da habitação, verificou-se uma redução significativa na quantidade de energia necessária utilizada na climatização, permitindo concluir que o investimento em eficiência energética é bastante rentável, sendo, para o caso concreto, amortizado, em média, num período entre 6 e 10 anos.

A segunda fase deste estudo, centrou-se nas questões relacionadas com as energias renováveis. Considerando os diversos tipos de energias renováveis descritas na primeira parte do trabalho, procedeu-se ao seu dimensionamento, tendo por base os consumos de energia e as características climatéricas nas diferentes zonas consideradas. Verificou-se que a selecção das energias utilizadas depende claramente da localização. Por exemplo, ficou aqui demonstrado que a instalação de um aerogerador eólico em Bragança não é rentável, visto produzir uma quantidade de energia muito reduzida. Importa destacar o grande potencial que Portugal apresenta no que diz respeito à exploração da energia solar, principalmente ao nível do solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias, visto que o equipamento para produção de energia eléctrica com recurso ao fotovoltaico ainda é bastante oneroso. Apesar das energias geotérmica, aerotérmica e da biomassa, não serem totalmente renováveis, visto necessitarem de alguma energia eléctrica e de biomassa para o aquecimento da água, constituem um bom complemento para a climatização do edifício.

A nível financeiro, convém referir que a produção da totalidade da energia que o edifício necessita ainda não é rentável recorrendo apenas a fontes de energias renováveis, visto ser necessário um longo período para que o investimento inicial seja amortizado. Contudo, devem ser estudadas várias soluções, não havendo uma combinação óptima.

Para finalizar torna-se imperativo referir que foram atingidos os objectivos inicialmente propostos, julgando ter-se contribuído para o conhecimento mais aprofundado desta temática, por parte dos cidadãos comuns, de modo a que estes se consciencializem da dimensão dos problemas ambientais e sócio económicos associados ao consumo excessivo dos combustíveis fósseis, provocando o aumento das emissões de gases poluentes para a atmosfera, o que implica uma destruição progressiva do que o homem tem de melhor, a Natureza.

Em suma, a utilização de energias renováveis está intimamente relacionada com a construção sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alexander, G.; *The context of Renewable Energy Technologies*, in Boyle, G. (ed); Renewable Energy – Power for a Sustainable future; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [2] Boyle, Godfrey; *Energy Systems and Sustainability*; Oxford: University Press; 2003
- [3] CIB; *Agenda 21 on Sustainable Construction*; CIB Report Publication; Rotterdam; 1999
- [4] Collares, Pereira, M.; *Energias renováveis: a opção inadiável*, Sociedade Portuguesa da Energia solar; Lisboa; 1998
- [5] Comissão Europeia; *Energia para o Futuro: Fontes de Energia Renováveis*; Livro Branco para uma Estratégia e Plano de Acção Comunitários; Comissão Europeia; 1997
- [6] Comissão Europeia; *Fazer mais com menos*; Livro Verde sobre a eficiência energética; Comissão Europeia; 1997
- [7] Communities, Commision of the European; *Eu Energy Policy Data*; European Commision; 2007
- [8] Curado, Maria Ângela Dias; *A eficiência energética dos edifícios: uma estratégia para a Universidade de Aveiro*; M. Curado; 2003
- [9] Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de Abril; *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios*, 2006
- [10] Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril; *RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, 2006
- [11] Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril; *RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*, 2006
- [12] DGE; *Eficiência Energética nos Edifícios*; Direcção Geral de Energia – Ministério da Economia; 2002
- [13] Elliot, D; *Sustainable Energy: Choices, Problems and Opportunities. Sustainability and Environmental Impact of Renewable Energy Sources*, Issues in Environmental Science and Technology; Royal Society of Chemistry; Cambridge; 2006
- [14] Everett, B; *Solar Thermal Energy*, in Boyle, G. (ed); Renewable Energy Power for Sustainable future; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [15] Fanchi, John R.; *Energy: technology and directions for the future*; Elsevier Academic Press; Amsterdam; 2004

- [16] Gomes, Maria; Marcelino, Maria; Espada, Maria; *Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*; Direcção Geral do Ambiente; 2000
- [17] Gonçalves, Hélder; *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*; DGGE; 2004
- [18] Lopes, Betina da Silva; *Energias renováveis em Portugal: situação actual*; B. Lopes; 2007
- [19] Lopes, Miguel; *Requisitos de desempenho para a construção sustentável*; Universidade do Minho; 2006
- [20] Mendonça, Paulo; *Desempenho Energético dos Edifícios – Manual de Acompanhamento das Acções de Formação da Ordem dos Arquitectos*; 2007
- [21] Pinheiro, Manuel; *Ambiente e construção sustentável*; Instituto do Ambiente; 2006
- [22] Potts, Michael; *The Independent Home, Living Well with Power from the Sun, Wind and Water*; Chelsea Green Publishing Company; Vermont; 1993
- [23] Ramage, J. and Scurlock, J.; *Biomass*, in Boyle, G. (ed); *Renewable Energy – Power for a Sustainable future*; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [24] Taylor, D.; *Wind Energy*, in Boyle, G. (ed); *Renewable Energy – Power for a Sustainable future*; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [25] Scheer, Hermann; *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*; Earthscan; London; 2005

## **PÁGINAS WEB**

- [26] 4EOLIC ENERGIAS RENOVÁVEIS; 2007; <http://www.4eolic.pt>
- [27] ADENE – Agência de Energia; 2007; <http://www.adene.pt>
- [28] BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável; 2008; <http://www.bcsdportugal.org>
- [29] CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; 2007; <http://www.quercus-construcaosustentavel.com/>
- [30] CONSTRUIR PORTUGAL; 2007; <http://www.construirportugal.pt>
- [31] DGE – Direcção Geral de Geologia e Energia; 2007; <http://www.dgge.pt>
- [32] ENAT – Energias Naturais; <http://www.enat.pt>
- [33] Energy and Environmental Issues in the Building Sector; <http://www.greenbuilding.ca>
- [34] ERSE – Entidade Reguladora dos Edifícios Energéticos; 2004; <http://www.erse.pt>

- [35] Eurostat, European Commission; 2008;  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?\\_pageid=1090,30070682,1090\\_33076576&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090,30070682,1090_33076576&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- [36] FUTURO SUSTENTÁVEL – Plano Estratégico do Ambiente do Grande Porto;  
<http://www.futurosustentavel.org>
- [37] Science Direct; 2008; <http://www.sciencedirect.com>
- [38] Solar Irradiation Data – European Commission; 2007; <http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm>
- [39] Sustainable Construcion; 2001; <http://www.sustainableconstruction.co.uk>

## **PROGRAMAS INFORMÁTICOS**

- [40] Solterm 5 – Análise de Desempenho de Sistemas Solares Térmicos e Fotovoltaicos, Maio de 2007, INETI



## ANEXOS

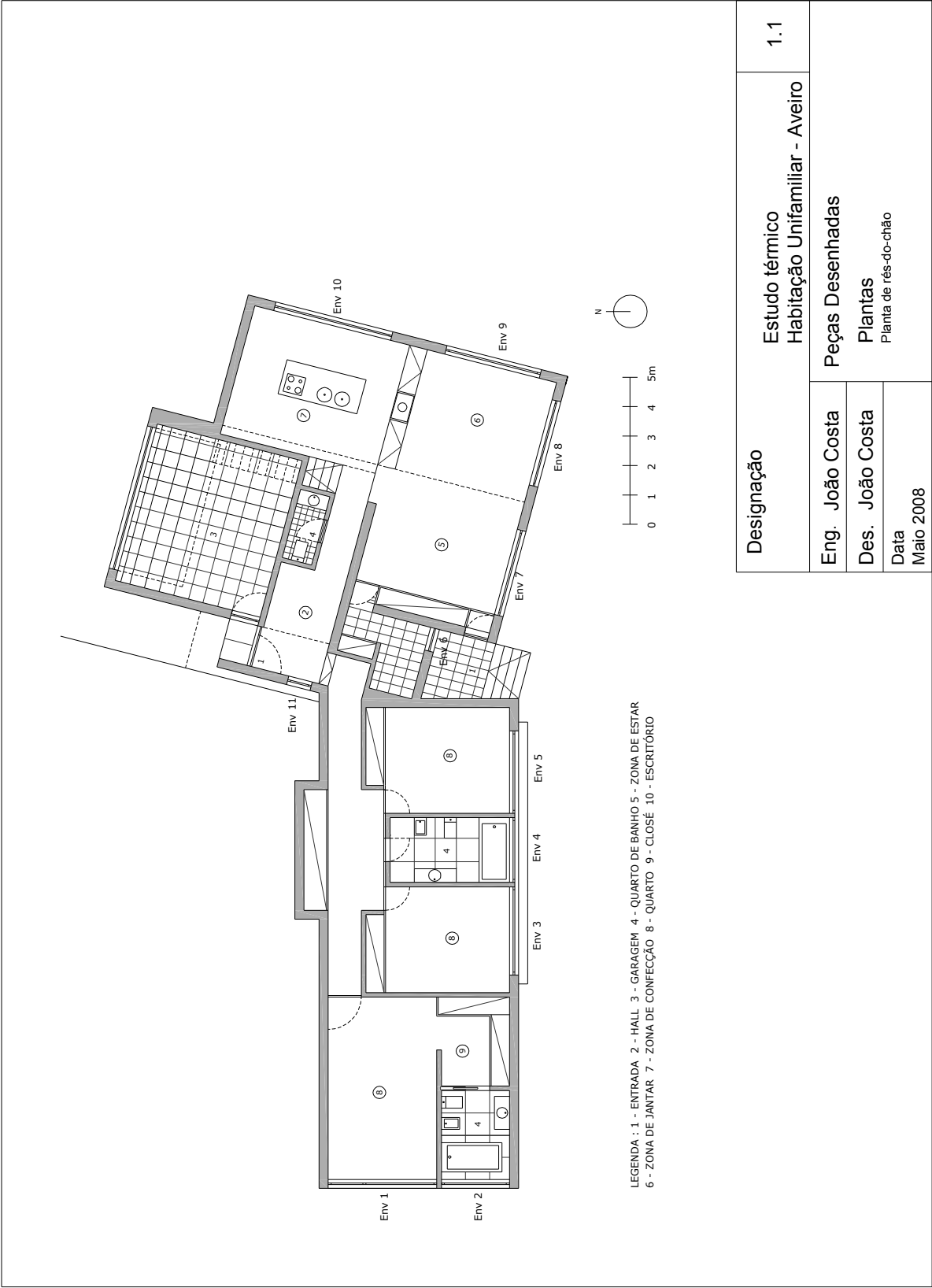
---

### I. PEÇAS DESENHADAS DO PROJECTO

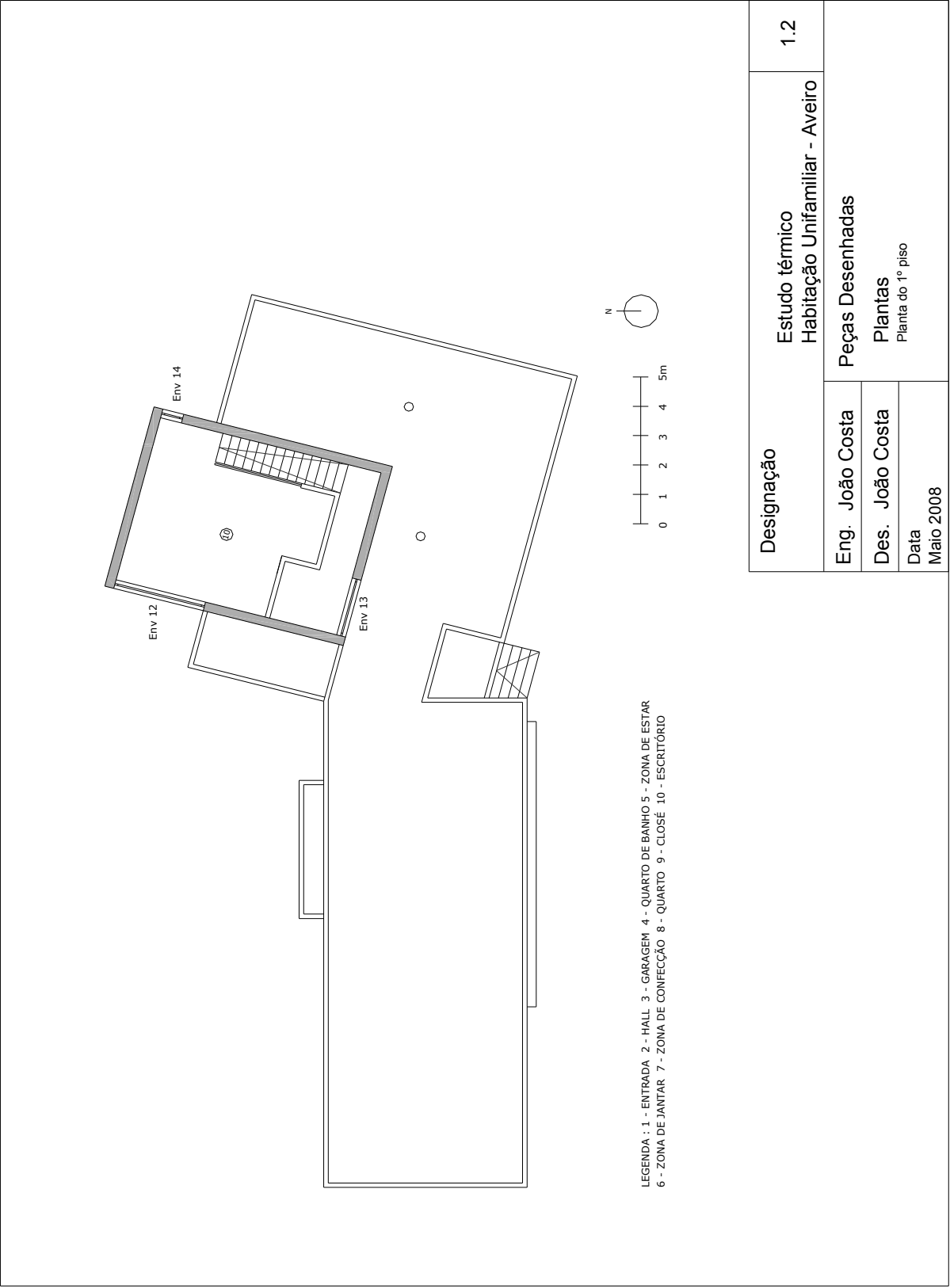
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
1.1	Planta do Rés-do-chão
1.2	Planta do 1º Piso
1.3	Planta da Cobertura
2.1	Alçados Norte e Sul
2.2	Alçados Nascente e Poente
3	Cortes AA, BB e CC
4.1	Pormenores Construtivos: a) Upr1 – Parede Envolvente da Habitação b) Upr2 – Parede de Separação com Garagem
4.2	Pormenores Construtivos: a) Uc1 – Cobertura Plana b) Upv1 – Pavimento sobre a Garagem c) Upv2 – Pavimento sobre Exterior
4.3	Pormenores Construtivos: Uptp-a – Ponte Térmica Plana A (Pilar de Betão)
4.4	Pormenores Construtivos: Uptp-b – Ponte Térmica Plana B (Talão de Viga)
4.5	Pormenores Construtivos: Ligação de Fachada com cobertura Plana ou Terraço
4.6	Pormenores Construtivos: Fachada com Pavimentos Intermédios
4.7	Pormenores Construtivos: Fachada com Pavimentos Sobre Locais Não Aquecidos
4.8	Pormenores Construtivos: Fachada com Pavimentos
4.9	Pormenores Construtivos: Duas Paredes Verticais
4.10	Pormenores Construtivos: Ligação da Fachada com Caixilharia

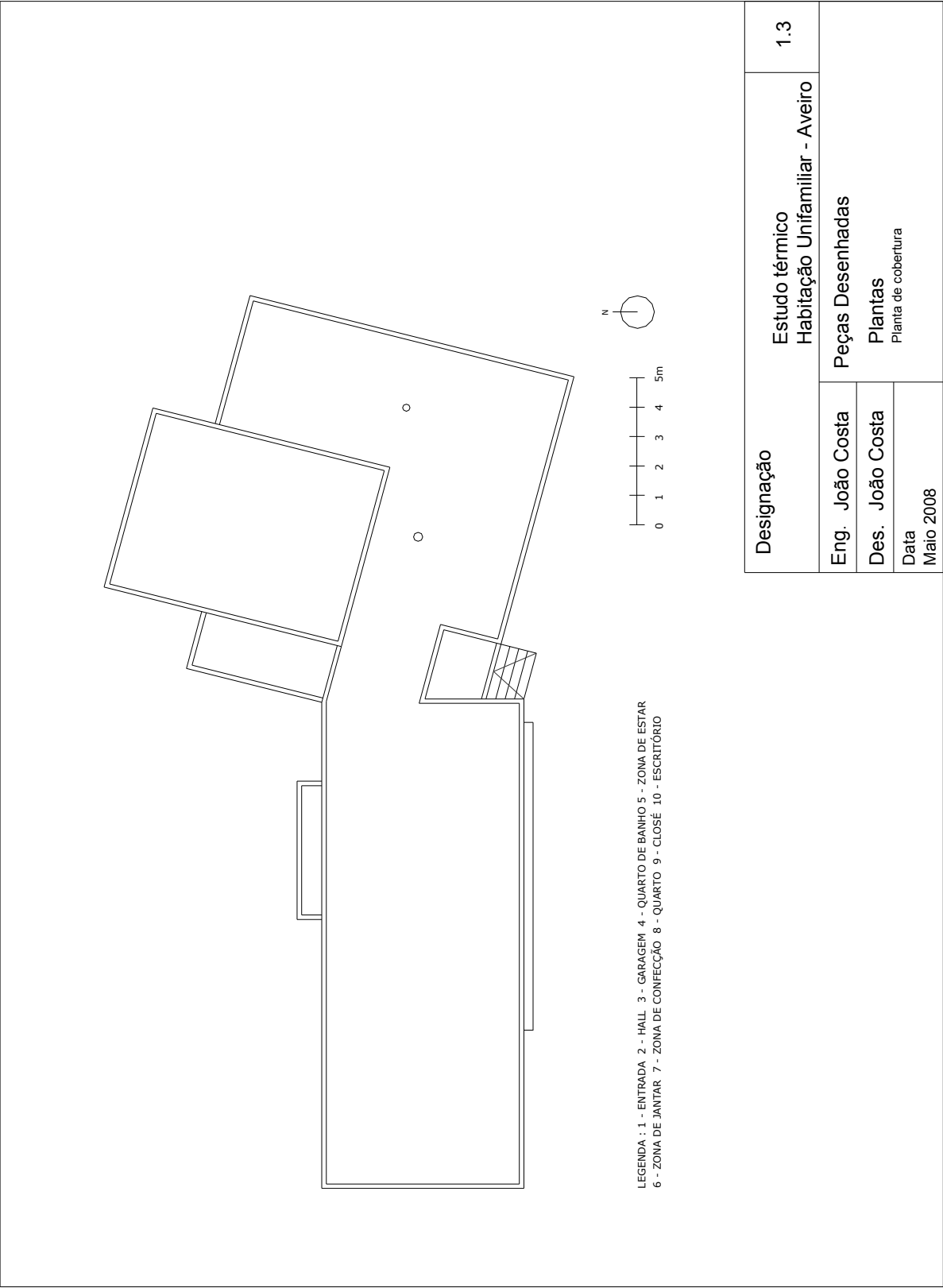




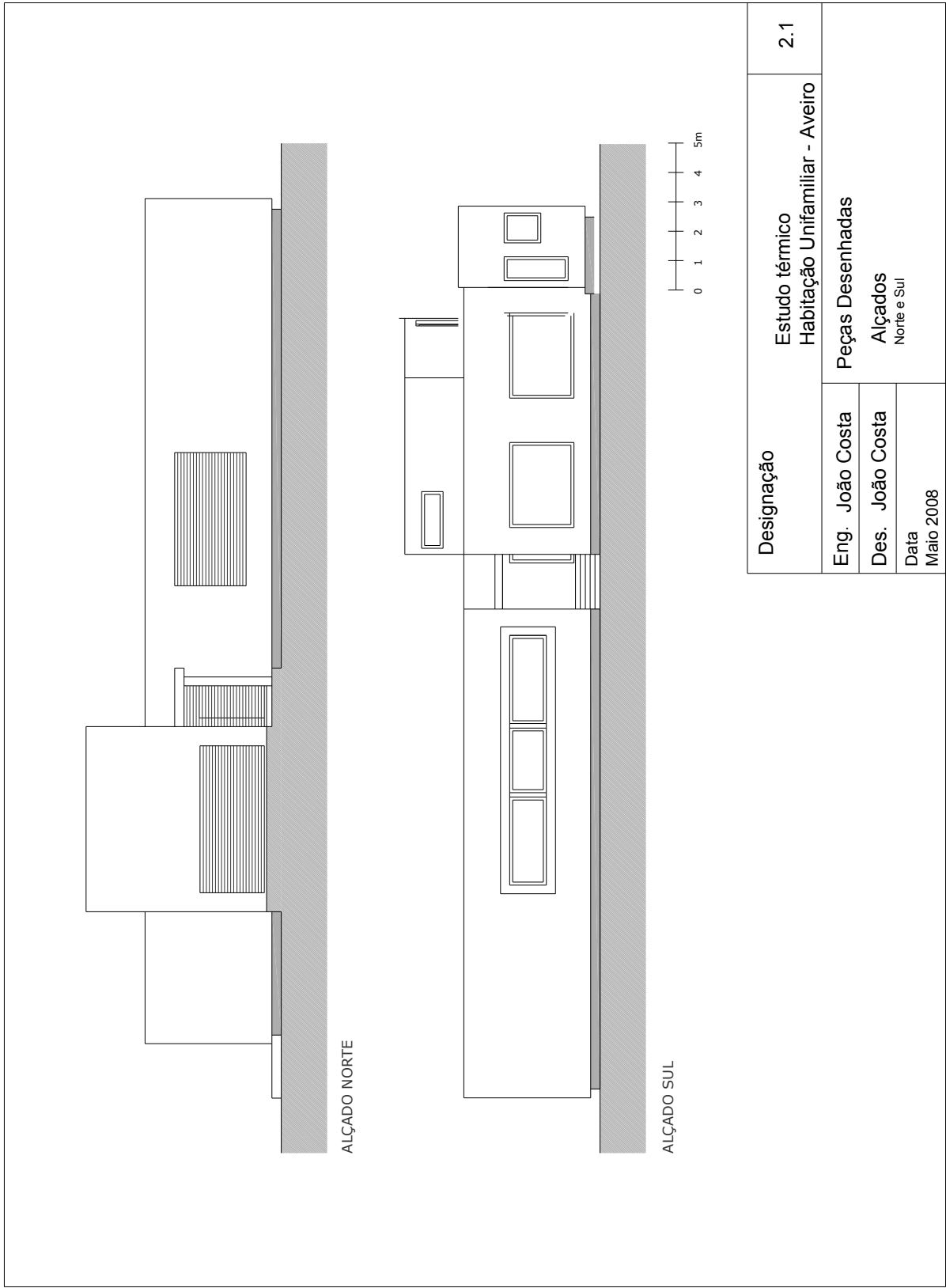


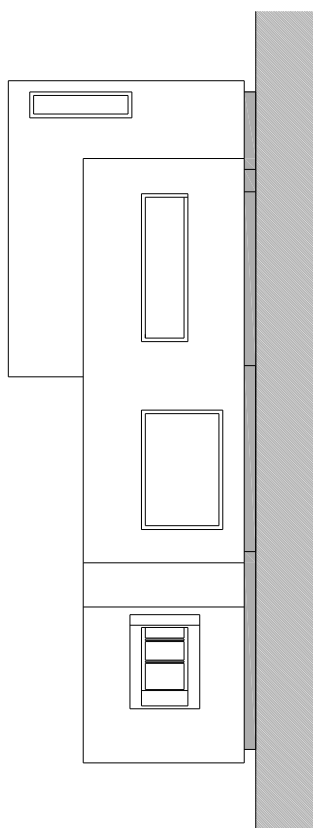
Designação		1.1	
Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro		Peças Desenhadas	
Eng. João Costa		Plantas	
Des. João Costa		Planta de rés-do-chão	
Data			
Maio 2008			



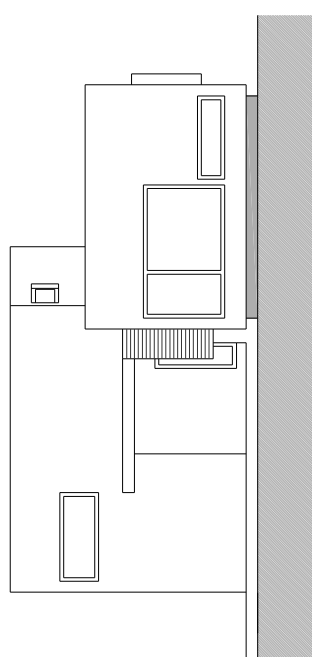


Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	1.3
Eng. João Costa	Peças Desenhadas		
Des. João Costa	Plantas		
Data	Planta de cobertura		
Maio 2008			

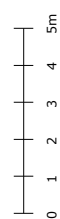




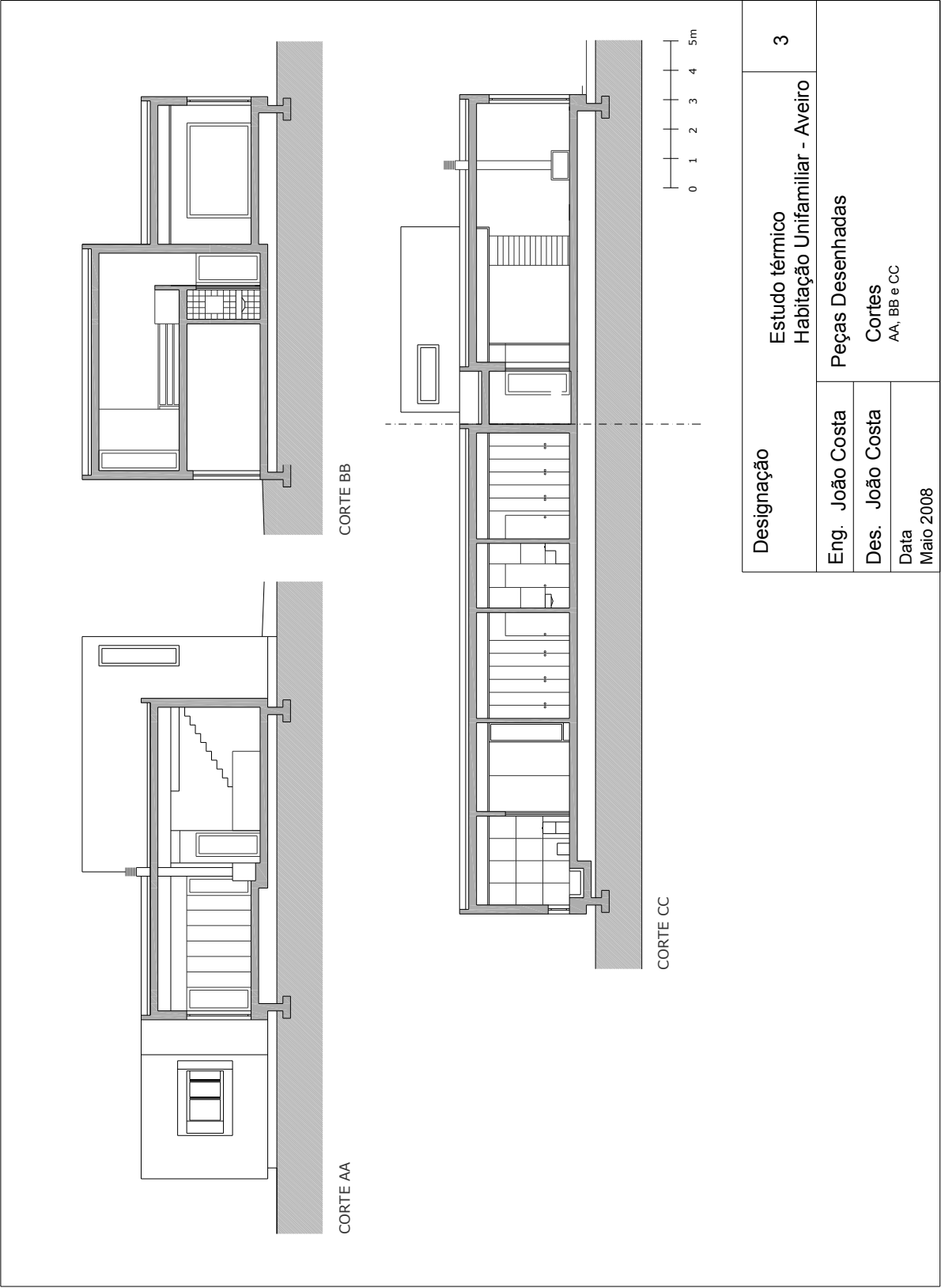
ALÇADO NASCENTE

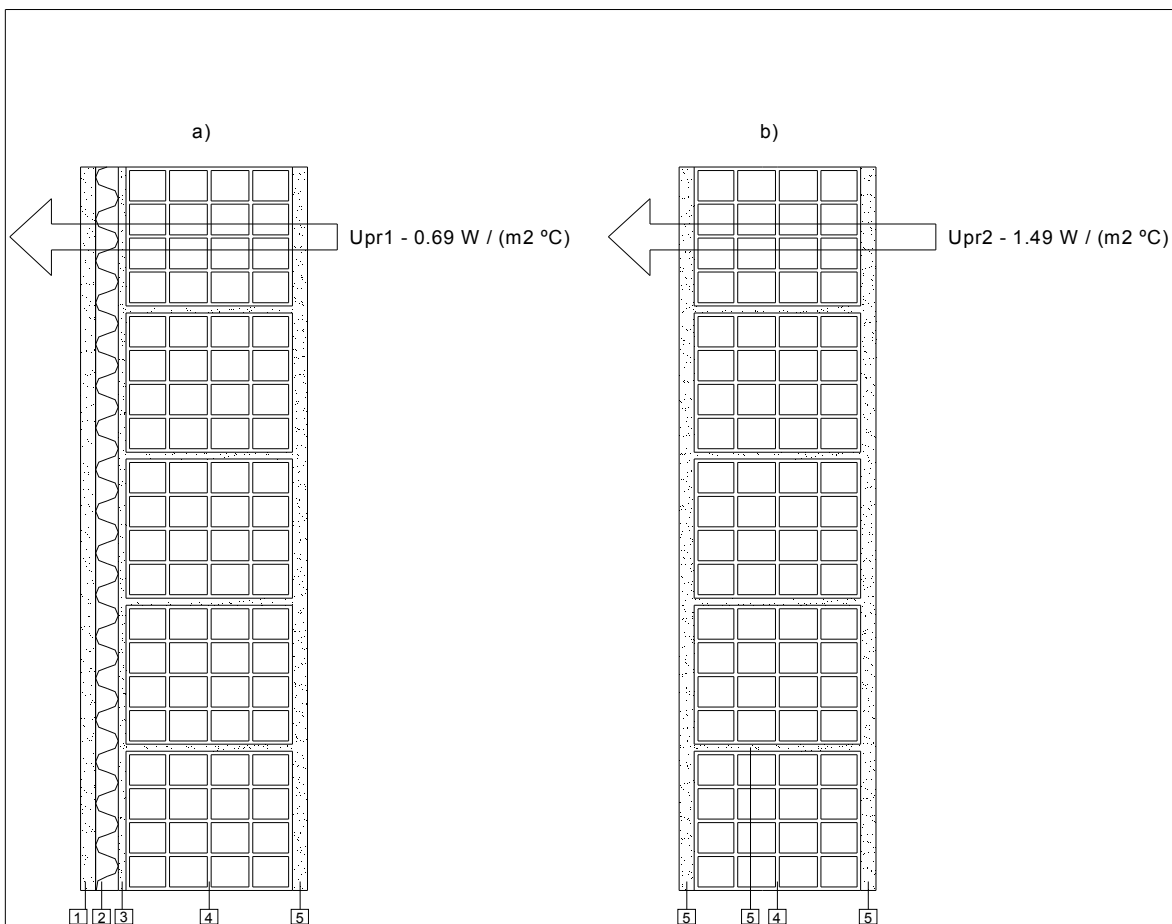


ALÇADO POENTE



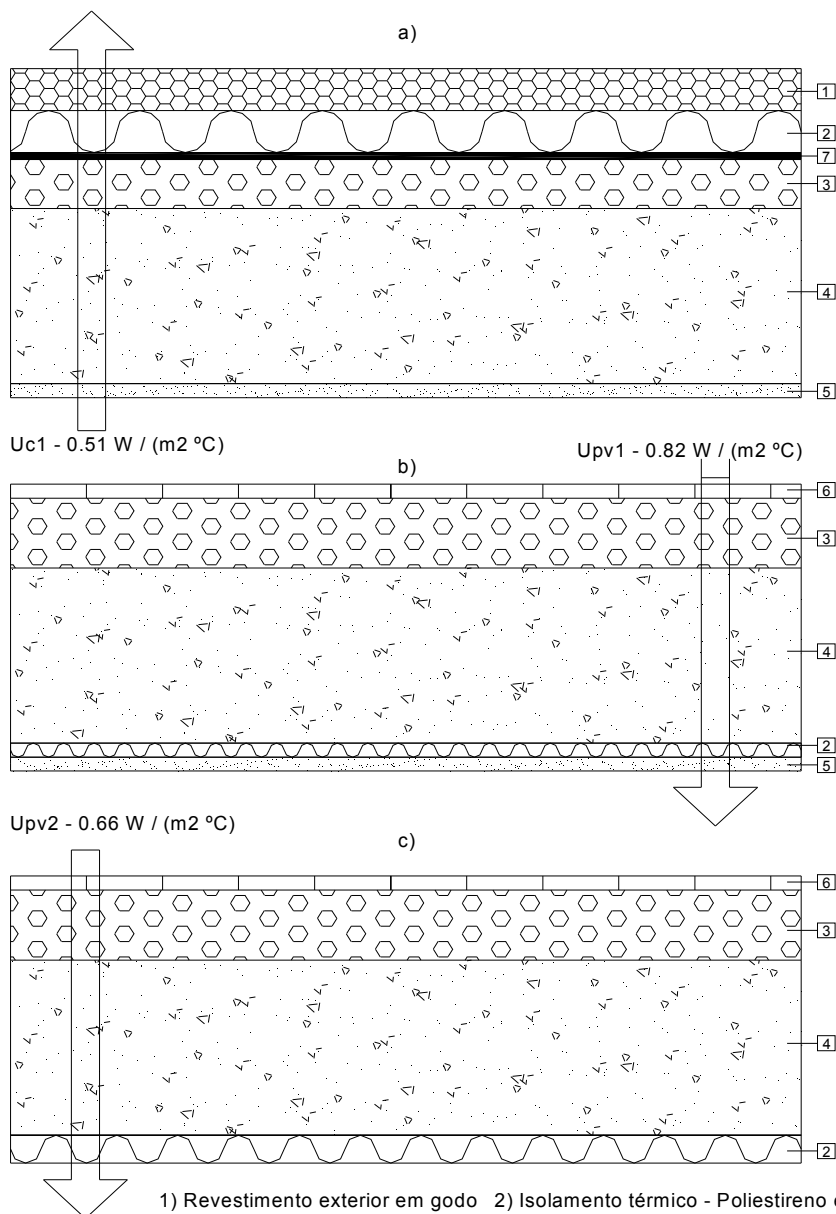
Designação		Estudo técnico Habitação Unifamiliar - Aveiro	2.2
Eng. João Costa	Peças Desenhadas		
Des. João Costa	Alçados		
Data Maio 2008	Nascente e Poente		





- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido (3 cm)
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)
- 5) Reboco interior corrente

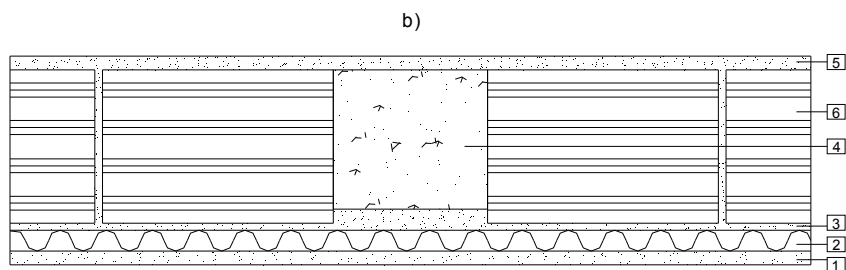
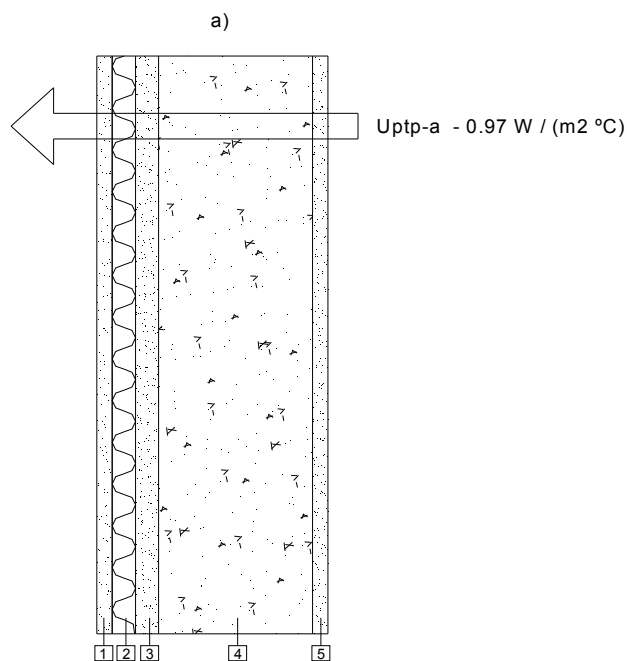
Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.1
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos a) Upr1 - Parede envolvente da habitação b) Upr2 - Parede de separação com garagem	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



- 1) Revestimento exterior em godo 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido  
3) Camada de forma 4) Laje de betão armado (25 cm) 5) Reboco interior corrente  
6) Revestimento interior - soalho 7) Camada de impermeabilização

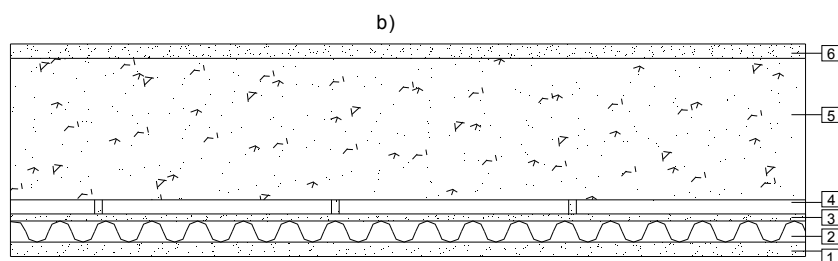
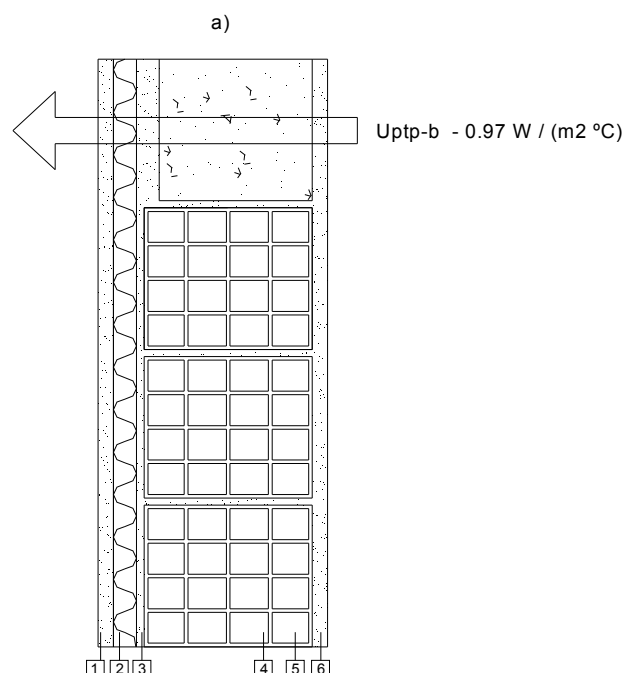
Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.2
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos a) Uc1 - Cobertura Plana b) Upv1 - Pavimento sobre a garagem b) Upv2 - Pavimento sobre exterior	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		





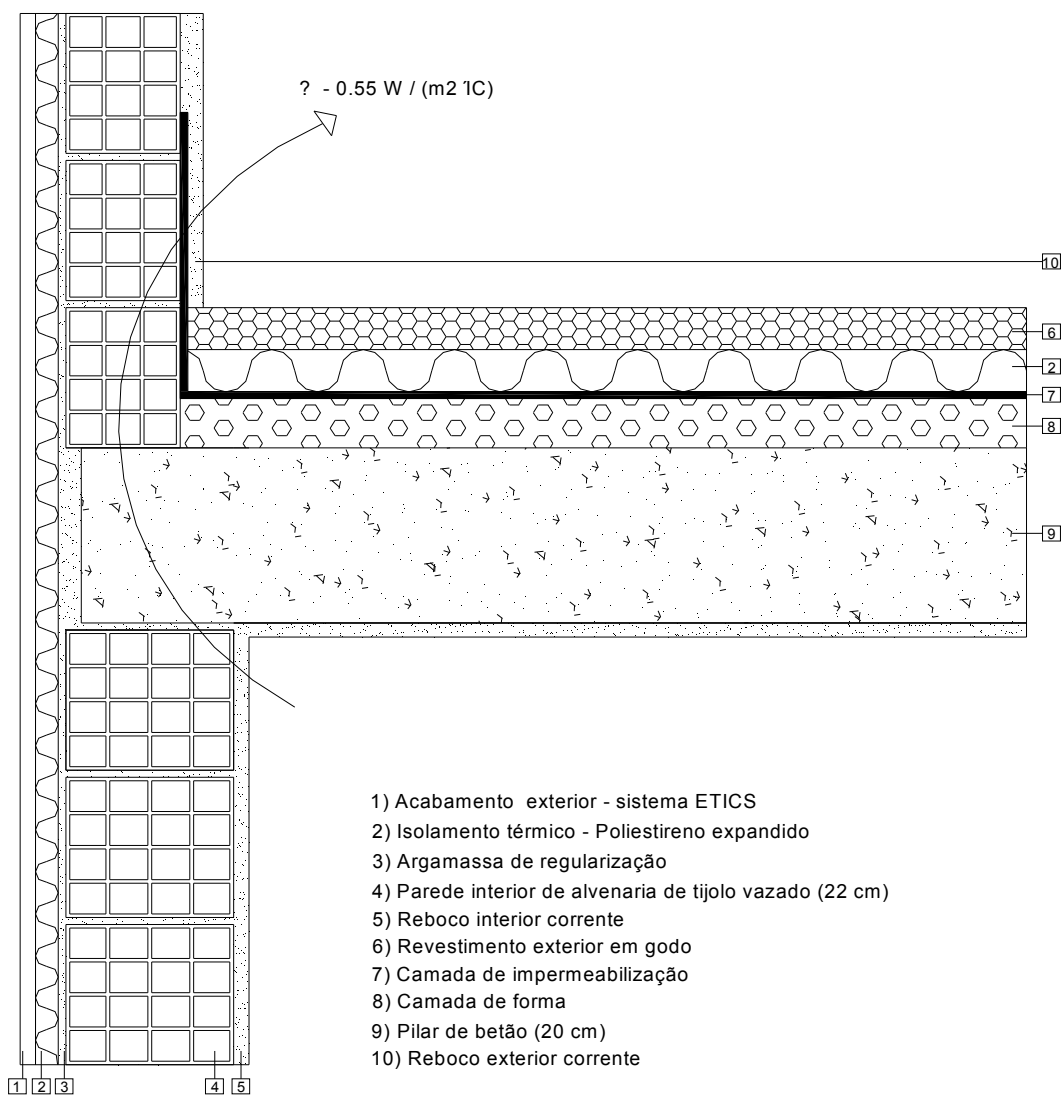
- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido (3 cm)
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Pilar de betão (20 cm)
- 5) Reboco interior corrente
- 6) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)

Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.3
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Uptp-a - Ponte térmica plana A (pilar de betão) a) Corte   b) Planta	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		

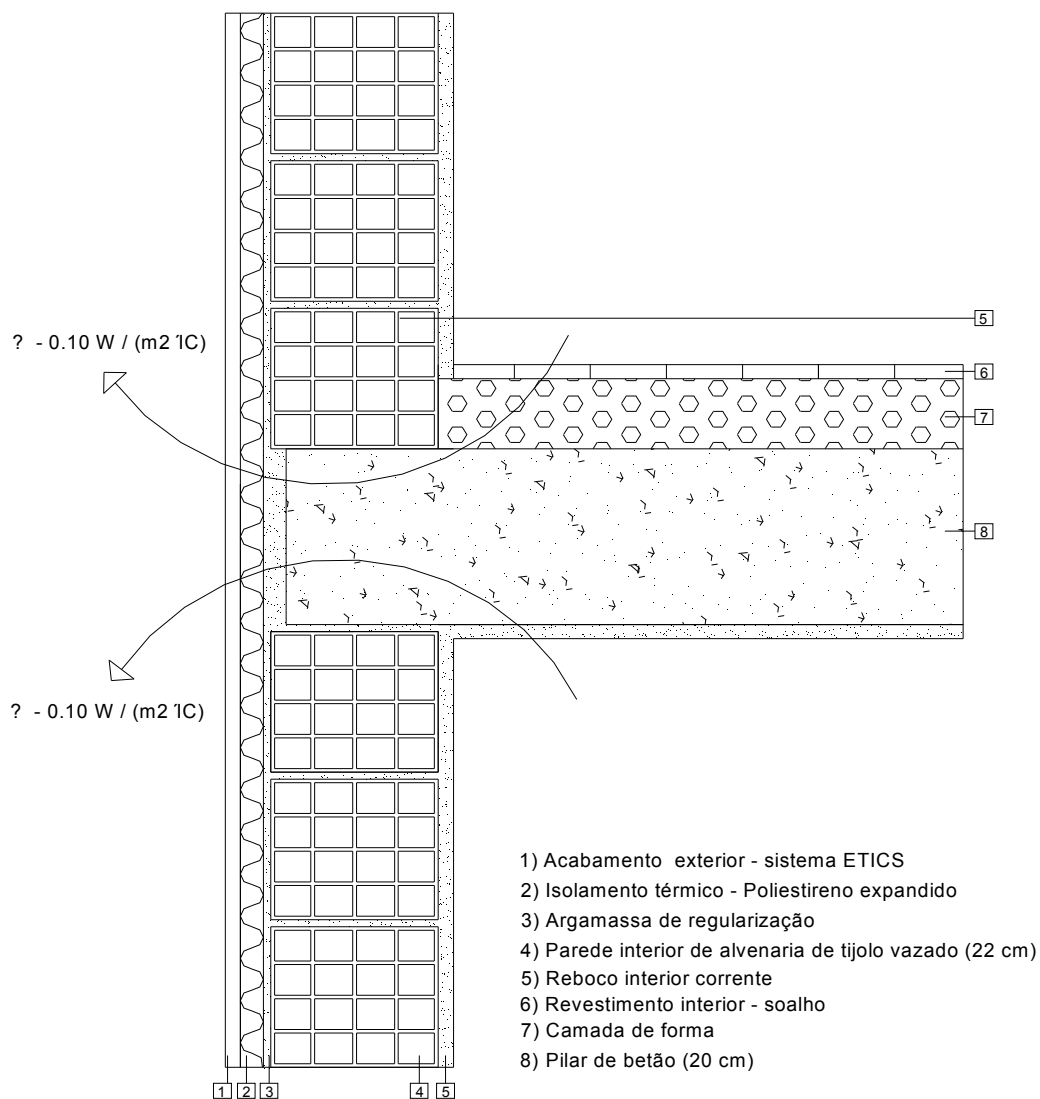


- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido (3 cm)
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)
- 5) Pilar de betão (20 cm)
- 6) Reboco interior corrente

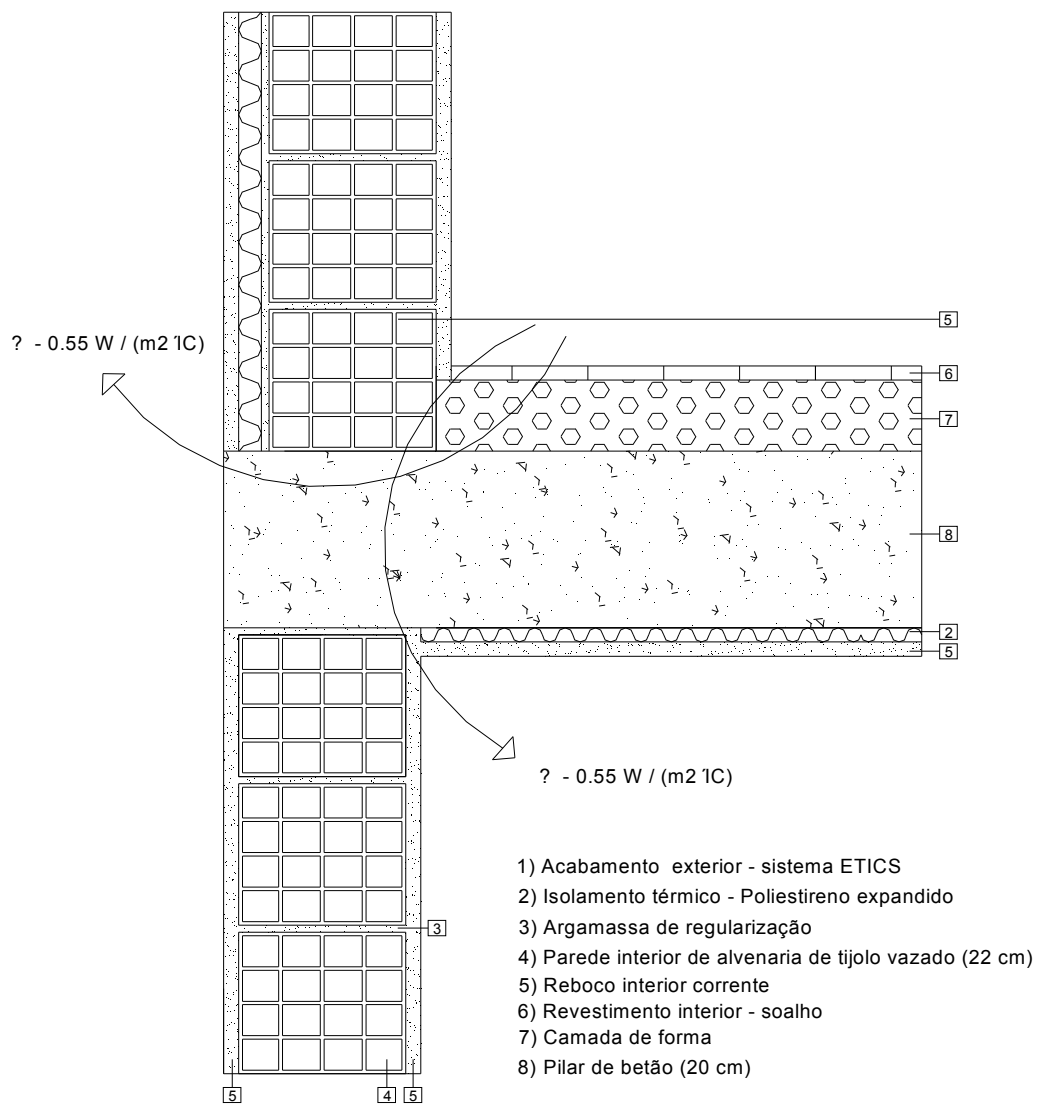
Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.4
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Uptp-b - Ponte térmica plana B (talão de viga) a) Corte   b) Planta	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



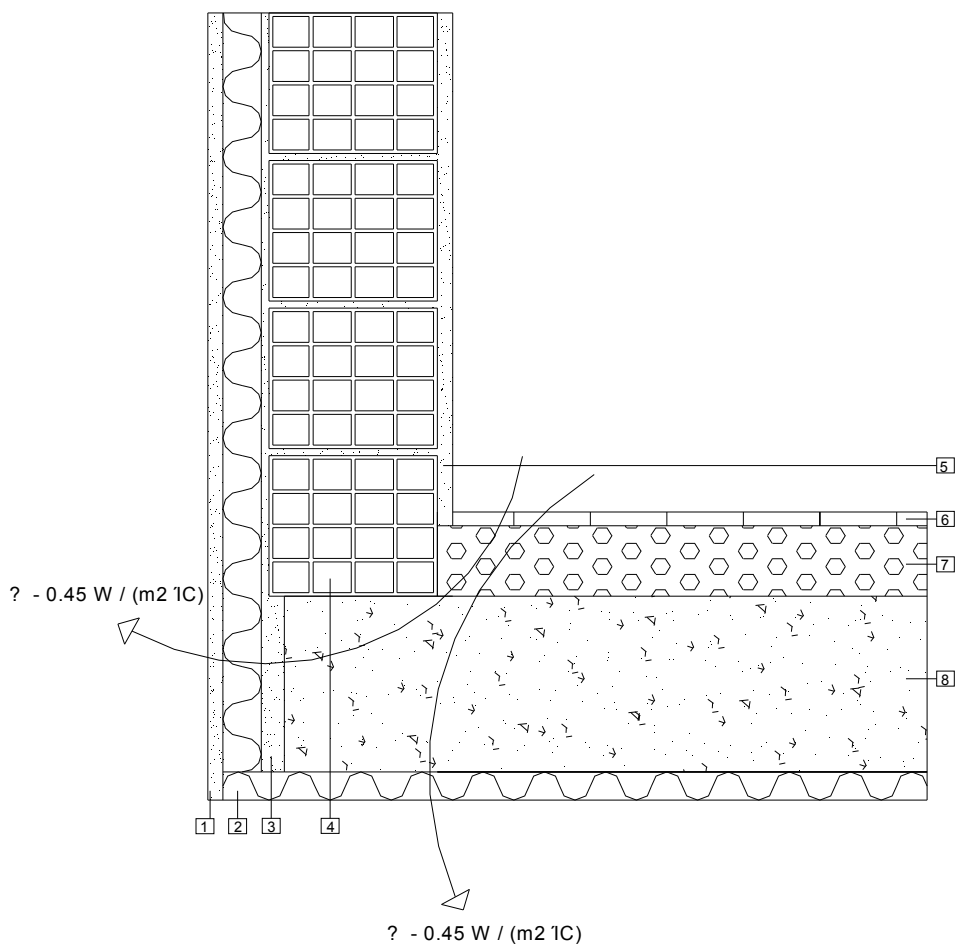
Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.5
Eng. João Costa		Peças Desenhadas	
Des. João Costa		Pormenores Construtivos	
Data Maio 2008	Esc. 1/10	Ponte térmica linear Fachada com cobertura inclinada ou terraço	



Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.6
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Ponte térmica linear Fachada com pavimentos intermédios	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		

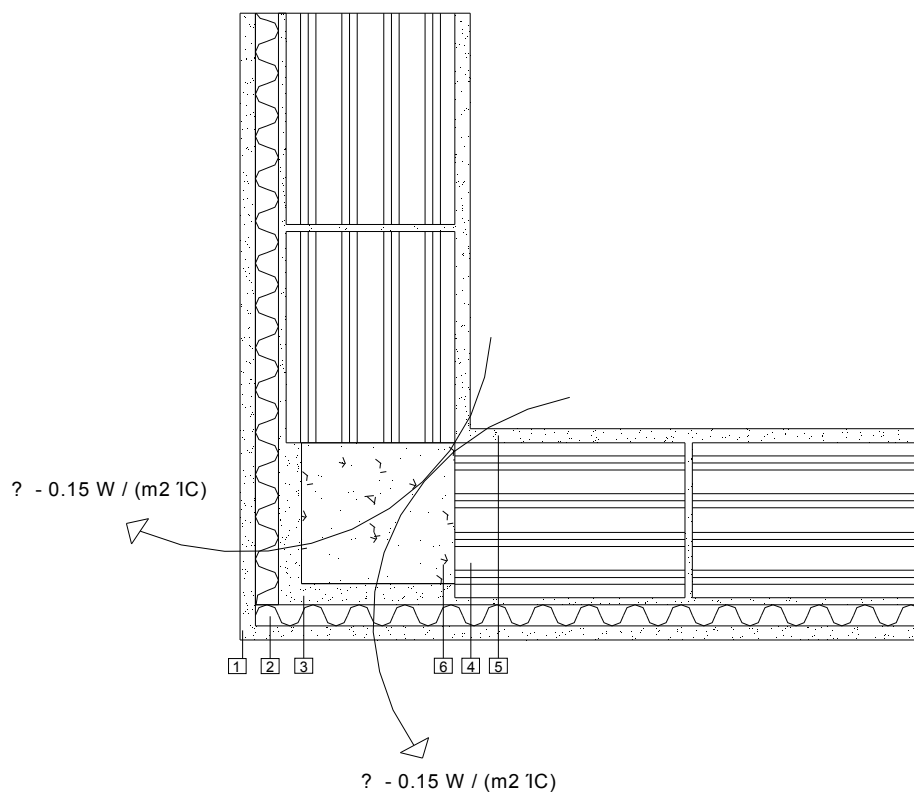


Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.7
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Ponte térmica linear Fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



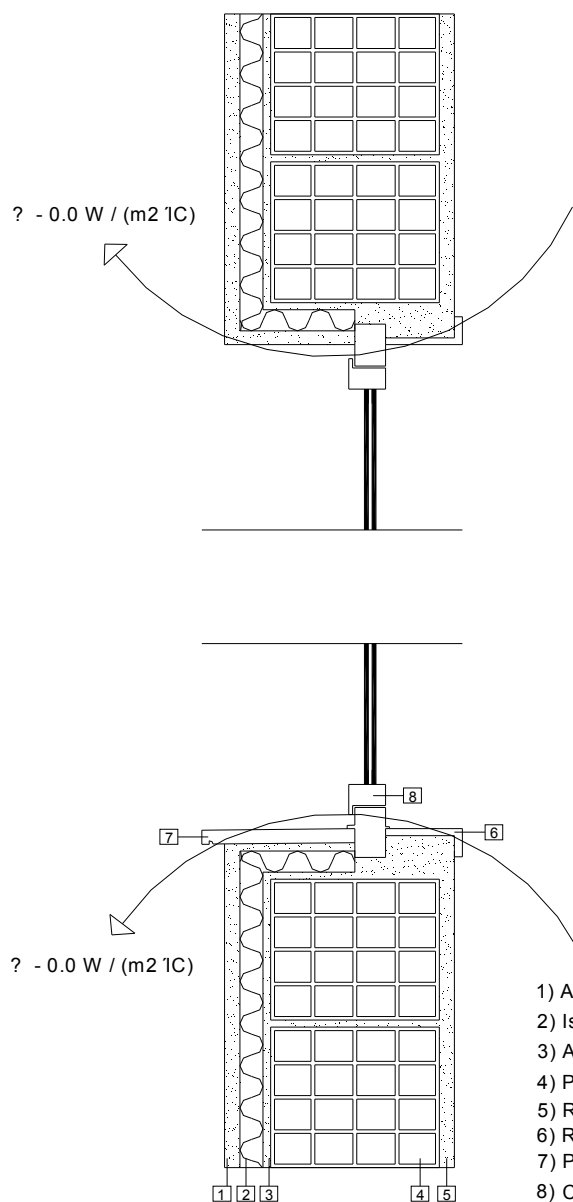
- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)
- 5) Reboco interior corrente
- 6) Revestimento interior - soalho
- 7) Camada de forma
- 8) Pilar de betão (20 cm)

Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.8
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Ponte térmica linear Fachada com pavimentos	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)
- 5) Reboco interior corrente
- 6) Pilar de betão (20 cm)

Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.9
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Ponte térmica linear Duas paredes verticais	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



- 1) Acabamento exterior - sistema ETICS
- 2) Isolamento térmico - Poliestireno expandido
- 3) Argamassa de regularização
- 4) Parede interior de alvenaria de tijolo vazado (22 cm)
- 5) Reboco interior corrente
- 6) Revestimento em madeira
- 7) Peitoril com pingadeira
- 8) Caixilharia em alumínio

Designação		Estudo térmico Habitação Unifamiliar - Aveiro	4.10
Eng. João Costa		Peças Desenhadas  Pormenores Construtivos Ponte térmica linear Ligação da Fachada com Caixilharia	
Des. João Costa			
Data Maio 2008	Esc. 1/10		



## II. FOLHAS DE CÁLCULO DO RCCTE

As folhas de cálculo apresentadas de seguida traduzem o método de cálculo descrito no capítulo em que se apresentou o estudo de caso, no caso do edifício se localizar em Aveiro e para a hipótese 1.

REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
FCIV.1A	Perdas Associadas à Envolvente Exterior
FCIV.1B	Perdas Associadas à Envolvente Interior
FCIV.1C	Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores
FCIV.1D	Perdas Associadas à Renovação de Ar
FCIV.1E	Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)
FCIV.1F	Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)
FCIV.2	Cálculo do Indicador Nic
FCV.1A	Perdas
FCV.1B	Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores
FCV.1C	Ganhos Solares pela Envolvente Opaca
FCV.1D	Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores
FCV.1E	Ganhos Internos
FCV.1F	Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)
FCV.1G	Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)



**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

<b>Paredes Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Parede 0 N	113,38	0,69	78,23
Parede 0 S	64,48	0,69	44,49
Parede 0 E	33,76	0,69	23,29
Parede 0 O	39,38	0,69	27,17
Parede 1 N	18,27	0,69	12,61
Parede 1 S	10,30	0,69	7,11
Parede 1 E	23,60	0,69	16,28
Parede 1 O	20,04	0,69	13,83
Porta 1	2,31	1,40	3,23
Porta 2	1,68	1,40	2,35
		<b>TOTAL</b>	<b>228,60</b>

<b>Pavimentos Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Pavimento Piso 0	194,92	0,66	103,31
		<b>TOTAL</b>	<b>103,31</b>

<b>Coberturas Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Cobertura Piso 0	181,55	0,51	92,59
Cobertura Piso 1	46,20	0,51	23,56
		<b>TOTAL</b>	<b>116,15</b>

<b>Paredes e pavimentos em contacto com o solo</b>	<b>Perímetro B (m)</b>	<b>ψ (W/m.°C)</b>	<b>ψ.B (W/°C)</b>
			0,00
		<b>TOTAL</b>	<b>0,00</b>

<b>Pontes térmicas lineares</b>	<b>Comp. B (m)</b>	<b>ψ (W/m.°C)</b>	<b>ψ.B (W/°C)</b>
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos	78,87	0,50	35,49
Fachada com pavimentos intermédios	20,90	0,10	2,09
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	108,52	0,55	59,69
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais	42,00	0,15	6,30
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	124,22	0,00	0,00
		<b>TOTAL</b>	<b>102,84</b>

**Perdas pela envolvente exterior  
da Fracção Autónoma**

(W/°C)	<b>TOTAL</b>	<b>550,90</b>
--------	--------------	---------------

**Folha de Cálculo FCIV.1b**  
**Perdas associadas à Envolvente Interior**

<b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ (-)</b>	<b>τ.U.A (W/°C)</b>
Garagem S	13,20	1,49	0,8	13,94
Garagem E	6,84	1,49	0,8	7,22
				0,00
<b>TOTAL</b>				<b>21,16</b>

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ (-)</b>	<b>τ.U.A (W/°C)</b>
Pavimento Piso 1	27,23	0,82	0,5	11,71
				0,00
				0,00
<b>TOTAL</b>				<b>11,71</b>

<b>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ (-)</b>	<b>τ.U.A (W/°C)</b>
				0,00
				0,00
<b>TOTAL</b>				<b>0,00</b>

<b>Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>τ (-)</b>	<b>τ.U.A (W/°C)</b>
				0,00
				0,00
<b>TOTAL</b>				<b>0,00</b>

<b>Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ&gt;0,7)</b>	<b>Comp. B (m)</b>	<b>ψ (W/m.°C)</b>	<b>τ (-)</b>	<b>τ.ψ.B (W/°C)</b>
Fachada com pavimentos sobre espaços não aquecidos	8,35	0,55	0,8	3,67
				0,00
				0,00
<b>TOTAL</b>				<b>3,67</b>

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

<b>TOTAL</b>	<b>32,87</b>
--------------	--------------

*Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:*  
*Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;*  
*Edifícios anexos;*  
*Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;*  
*Sotãos não-habitados.*

**Folha de Cálculo FCIV.1c**  
**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b>Verticais:</b>			
Env 1	7,56	3,40	25,70
Env 2	1,58	3,40	5,37
Env 3	3,60	3,40	12,24
Env 4	2,64	3,40	8,98
Env 5	3,60	3,40	12,24
Env 6	1,68	3,40	5,71
Env 7	6,10	3,40	20,74
Env 8	6,10	3,40	20,74
Env 9	6,78	3,40	23,05
Env 10	4,80	3,40	16,32
Env 11	1,47	3,40	5,00
Env 12	2,40	3,40	8,16
Env 13	1,35	3,40	4,59
Env 14	1,84	3,40	6,26
<b>Horizontais:</b>			
		<b>TOTAL</b>	<b>175,10</b>

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de Pavimento	<input type="text" value="225"/>	(m <sup>2</sup> )
	x	
Pé-direito médio	<input type="text" value="2,6"/>	(m)
	=	
Volume interior (V)	<input type="text" value="583,70"/>	(m <sup>3</sup> )

<b>VENTILAÇÃO NATURAL</b>		<i>(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)</i>	
Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	se SIM: RPH = <input type="text" value="0,6"/>
Se NÃO:			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="S/C"/>	<div>Taxa de Renovação Nominal:</div> <div>Ver Quadro IV.1</div> <div>RPH= <input type="text" value="0,95"/></div>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>	
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>			
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

Volume	<input type="text" value="583,70"/>	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	<input type="text" value="0,95"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="188,54"/>	(W/°C)

**Folha de Cálculo FC IV.1e**  
**Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)**

**Ganhos Solares:**

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m <sup>2</sup> )	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m <sup>2</sup> )
Env 1 O	Duplo	7,56	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	1,51
Env 2 O	Duplo	1,58	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	0,32
Env 3 S	Duplo	3,60	1,00	0,75	0,76	0,70	0,90	1,29
Env 4 S	Duplo	2,64	1,00	0,75	0,78	0,70	0,90	0,98
Env 5 S	Duplo	3,60	1,00	0,75	0,76	0,70	0,90	1,29
Env 6 S	Duplo	1,68	1,00	0,75	0,26	0,70	0,90	0,20
Env 7 S	Duplo	6,10	1,00	0,75	0,86	0,70	0,90	2,49
Env 8 S	Duplo	6,10	1,00	0,75	0,81	0,70	0,90	2,33
Env 9 E	Duplo	6,78	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	1,36
Env 10 E	Duplo	4,80	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	0,96
Env 11 O	Duplo	1,47	0,56	0,75	0,84	0,70	0,90	0,33
Env 12 O	Duplo	2,40	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	0,48
Env 13 S	Duplo	1,35	1,00	0,75	0,81	0,70	0,90	0,52
Env 14 E	Duplo	1,84	0,56	0,75	0,76	0,70	0,90	0,37

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m<sup>2</sup>)

11,77

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

na zona I1 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m<sup>2</sup>.mês)

108

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1

(meses)

6

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

7629,80

**Ganhos Internos**

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m <sup>2</sup> )
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	6,00	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	224,50	(m <sup>2</sup> )
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	3879,36	(kWh/ano)

**Ganhos Úteis Totais:**

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

11509,16
31605,59

Inércia do edifício:

3

a =

4,2

 $\gamma =$ 

0,36

*(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos ( $\eta$ )

0,95

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

11509,16

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

10965,51



**Folha de Cálculo FC IV.1f**  
**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

<b>Factor de forma</b>		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m <sup>2</sup>
Paredes exteriores		327,2
Coberturas exteriores		227,8
Pavimentos exteriores		194,9
Envidraçados exteriores		51,5
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)	
Paredes interiores		20,04
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		27,23
Envidraçados interiores		0
Área total:		848,64
		/
Volume (de FCIV.1d):		583,70
		=
<b>FF</b>		1,45

<b>Graus-dias no local</b> (°C.dia)	(do Quadro III.1)	1390
--	-------------------	------

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5

<b>Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)</b>	98,62
--	-------

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	550,90
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	32,87
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	175,10
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	188,54

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	947,41
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1390,00
	x
	0,024
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ( $E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	0
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	31605,59
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	10965,51
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	20640,08
	/
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	224,50
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	91,94
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	98,62

Verifica

O.K.

**Folha de cálculo FCV.1a**  
**Perdas**

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	228,60	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	103,31	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	116,15	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	175,10	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	188,54	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	811,70	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		19	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	811,70	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	14259,88	(kWh)

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)**

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Cobertura Piso 0	181,55	0,51	92,59
Cobertura Piso 1	46,2	0,51	23,56
			0,00
		TOTAL	116,15

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Env 1	7,56	3,4	25,70
Env 2	1,58	3,4	5,37
Env 3	3,60	3,4	12,24
Env 4	2,64	3,4	8,98
Env 5	3,60	3,4	12,24
Env 6	1,68	3,4	5,71
Env 7	6,10	3,4	20,74
Env 8	6,10	3,4	20,74
Env 9	6,78	3,4	23,05
Env 10	4,80	3,4	16,32
Env 11	1,47	3,4	5,00
Env 12	2,40	3,4	8,16
Env 13	1,35	3,4	4,59
Env 14	1,84	3,4	6,26
			0,00
		TOTAL	175,10

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca**

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura )

Orientação	Par 0 N	Par 0 S	Par 0 E	Par 0 O	Par 1 N	Par 1 S	Par 1 E	Par 1 O	Porta 1 O	Porta 2 S	Cobert 0	Cobert 1
Área, A (m <sup>2</sup> )	113,38	64,48	33,76	39,38	18,27	10,30	23,60	20,04	2,31	1,68	181,55	46,20
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
U (W/m <sup>2</sup> °C)	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	1,40	1,40	0,51	0,51
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	31,29	17,80	9,32	10,87	5,04	2,84	6,51	5,53	1,29	0,94	37,04	9,42
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	200	380	420	420	200	380	420	420	420	380	730	730
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca</b>	<b>250,34</b>	<b>270,51</b>	<b>156,54</b>	<b>182,60</b>	<b>40,34</b>	<b>43,21</b>	<b>109,43</b>	<b>92,92</b>	<b>21,73</b>	<b>14,30</b>	<b>1081,46</b>	<b>275,20</b>
	<b>TOTAL</b>											<b>2538,58</b>
												<b>(kWh)</b>



**Folha de cálculo FC V.1e**  
**Ganhos Internos**

Ganhos Internos médios (W/m <sup>2</sup> ) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	224,5	
	x	
	2,93	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<b>2629,34</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V.1f**  
**Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)**

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b> (FCV.1d)	1955,61	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b> (FCV.1c)	2538,58	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos</b> (FCV.1e)	2629,34	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>7123,54</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FCV.1g**  
**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

<b>Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)</b>	7123,54	(kWh)
	/	
<b>Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)</b>	14259,88	(kWh)
	=	
<b>Relação Ganhos-Perdas</b>	0,50	
<b>Inércia do edifício</b>	(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	3

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, $\eta$ (Gráfico IV.1)	0,91	
	=	
	0,09	
	x	
<b>Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)</b>	7123,54	(kWh)
	=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>	639,17	(kWh/ano)
<b>TOTAL</b>	639,17	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )	224,50	
	=	
<b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>	2,85	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
<b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b> (Nº2 do Artigo 15º)	16	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Verifica

O.K.